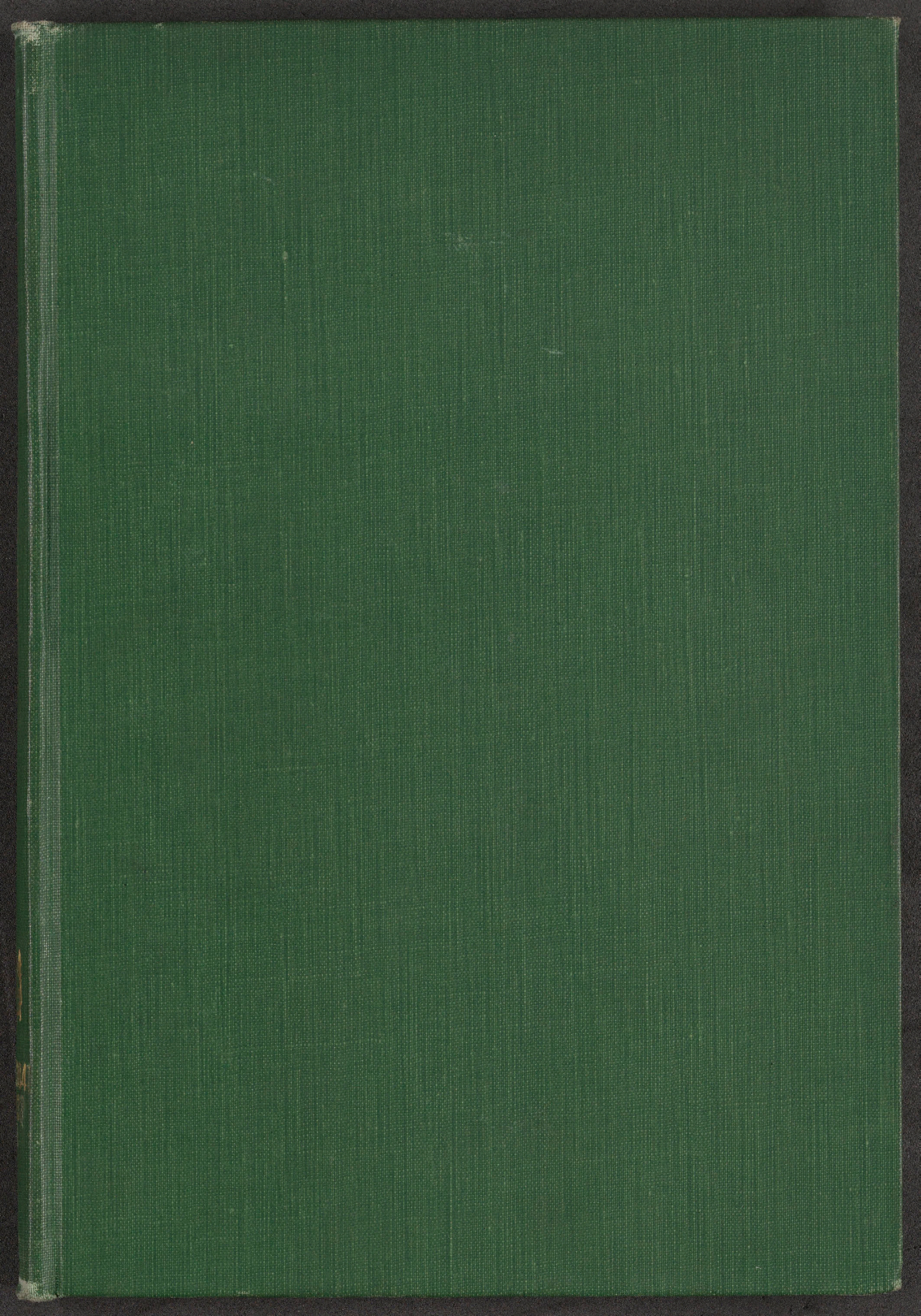
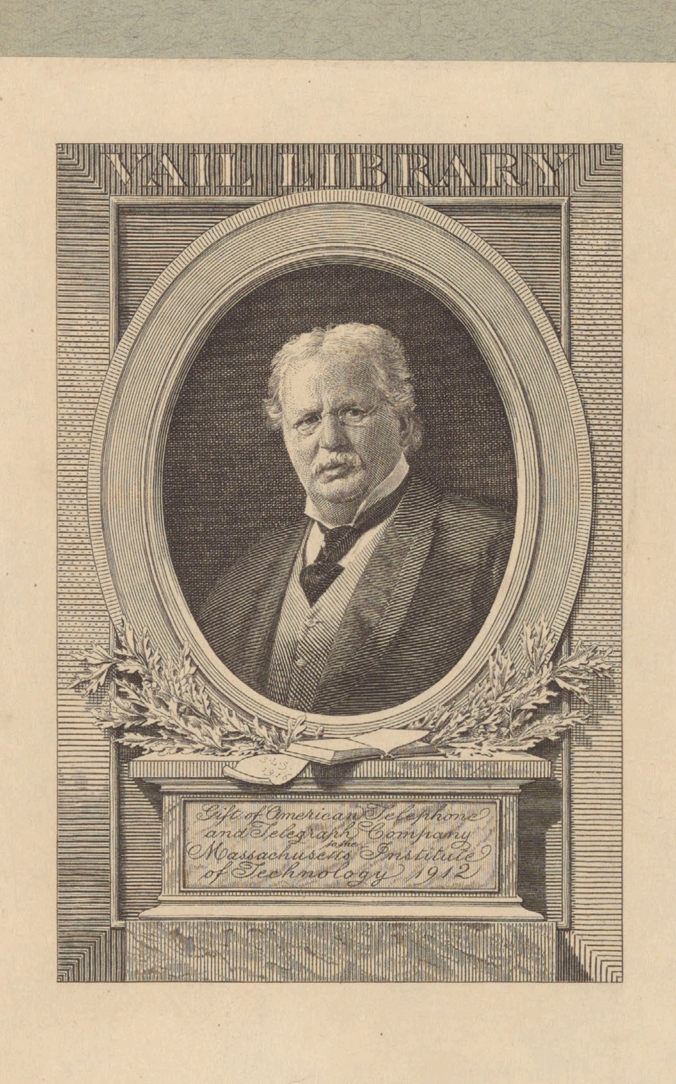



VAIL LIBRARY
Gift of American Telephone
and Telegraph Company
to the
Massachusetts Institute
of Technology 1912

Drahtlose Telephonie

von

ERNST RUHMER.

Mit 139 Textfiguren.



Administration der Fachzeitschrift „DER MECHANIKER"
(F. & M. Harrwitz),
Berlin W. 35, Potsdamerstrasse 113, Villa V.

Inhalt.

Vorwort.

Die freundliche Aufnahme, die mein Ende 1902 erschienenes Büchelchen: „Das Selen und seine Bedeutung für die Elektrotechnik", in der gesamten in- und ausländischen Fachpresse gefunden hat, veranlasst mich auch vorliegende Zusammenstellung der bisher vorgeschlagenen und ausgeführten Verfahren der drahtlosen Telephonie weiteren Kreisen bekannt zu geben.

Um die Selbständigkeit der Darstellung zu wahren, ist auch die schon in obiger Schrift ausführlicher behandelte Lichttelephonie, sowie die derselben zu Grunde liegenden elektrophysikalischen Erscheinungen, unter besonderer Berücksichtigung der neueren diesbezüglichen Versuche, aufgenommen worden.

Den grössten Teil des zweiten Abschnittes bildet die elektrische Wellentelephonie, deren neueste Fortschritte zu den besten Hoffnungen berechtigen, und der daher weitgehendstes Interesse entgegengebracht werden dürfte.

Einem vielfach geäusserten Wunsche Rechnung tragend, sind in den Text zahlreiche Literaturangaben eingestreut und am Schluss ein Namen- und Sach-Register angefügt.

Möge auch dieses neue Schriftchen bei seiner Beurteilung die gleiche Nachsicht finden wie meine früheren.

Berlin SW. 48, 15. Februar 1907. Ernst Ruhmer.

Einleitung.

Unter drahtloser Telephonie im allgemeinen versteht man die Uebertragung der menschlichen Sprache auf grössere Entfernung ohne eine die Gebe- und Empfangsstation verbindende Drahtleitung.

Im einfachsten Falle dient die Luft zur Uebertragung der Schallwellen, die Stimme des Sprechenden als Sender, das Ohr des Hörers als Empfänger.

Diese Art der Uebertragung ist uns so geläufig, dass wir dieselbe kaum noch als drahtlose Telephonie anzusehen gewohnt sind, obwohl sich mit diesem einfachsten aller Systeme, besonders bei Anwendung bekannter Hilfsmittel, wie z. B. eines Sprachrohres, oft bedeutend grössere Entfernungen überbrücken lassen als mit mancher anderen vorgeschlagenen, zudem bedeutend komplizierteren Methode.[1]) Wie überraschend dennoch in gewissen Fällen auch die normale Uebertragung wirken kann, zeigen die sogenannten Flüstergewölbe in Kirchen u.s.w. Noch günstigere Resultate lassen sich bei Benutzung der Luft zur Uebertragung der Schallwellen erzielen, wenn man sich eines Senders und Empfängers bedient, der die Sprache auf elektrischem Wege verstärkt aussendet resp. wiedergibt.

Bei Anwendung grosser Parabolspiegel (90 cm Oeffnung), von denen der Sender ein lautsprechendes Telephon, der Empfänger ein empfindliches Mikrophon (Lauschmikrophon), das in üblicher Weise mit Batterie und Telephon verbunden ist, im Brennpunkt enthält, lassen sich nach Versuchen des Verfassers bei ruhiger Luft noch befriedigende Resultate über 1500 m Entfernung erzielen.

Man hat auch versucht die Leitfähigkeit fester und flüssiger Körper für die Uebertragung auszunutzen; erwähnt seien hier nur die Versuche sich des Wassers als Fortpflanzungsmedium zu bedienen (Trowbridge), deren Ergebnisse die jetzt vielfach praktisch angewendeten Unterwasser-Signalapparate darstellen. (Elisha Gray u. A. J. Munday).

---

[1]) Vgl. hierzu auch Short's Gouraudphon. Mechaniker 8, S. 261. 1900 und 9, S. 79. 1901.

Bedeutend komplizierter sind schon die Methoden, bei denen die Sprache mittels Wärme- bezw. Lichtstrahlen übertragen wird, die

I. Radiophonie.

Hierher gehören die Thermophone, das Bell'sche Photophon und die Lichttelephonie, die wir noch ausführlicher behandeln werden.

Im Speziellen sind wir aber gewohnt, bei einer drahtlosen Uebertragung an eine rein elektrische Wirkung zu denken.

Der gewaltige Fortschritt in der Erkenntnis der magnetelektrischen und elektromagnetischen Erscheinungen hat uns in der Tat viele Wege eröffnet, um eine Uebertragung der Sprache durch den Aether ohne Zuhilfenahme akustischer oder optischer Hilfsmittel zu erreichen.

II. Drahtlose Telephonie mittels elektrischer Kräfte.

Man kann hierbei, ähnlich wie bei der drahtlosen Telegraphie verschiedene Gruppen von Methoden unterscheiden, zunächst die

1. **Hydrotelephonie,** bei welcher die Uebertragung durch Stromleitung in der Erde oder im Wasser erfolgt, sodann die
2. **Induktionstelephonie,** welche Induktionswirkungen benutzt und endlich die
3. **Wellentelephonie,** bei welcher die elektrischen Wellen in ähnlicher Weise wie das Licht bei der Lichttelephonie als Träger der Sprache dienen.

Wenden wir uns nunmehr den einzelnen der angeführten Systeme ausführlicher zu.

I.

Drahtlose Telephonie mittels Licht- oder Wärmestrahlen, Radiophonie.

Die hierher gehörenden Methoden beruhen auf einer Beeinflussung der Intensität der von der Sendestation ausgesandten Licht- bezw. der diese begleitenden Wärmestrahlen (Photophonie bezw. Thermophonie). Diese Intensitätsschwankungen werden auf der Empfangsstation wieder in Schallwellen zurückverwandelt. Bei Anwendung von Lichtstrahlen erfolgt diese Umsetzung auf elektrischem Wege unter Benutzung der Lichtempfindlichkeit des kristallinischen Selens (sprich Selehn), die May, ein Assistent von Willoughby Smith, entdeckt hat. Das zur Schwefelgruppe gehörige Element Selen kommt in mehreren Modifikationen vor, von denen nur die kristallinische, welche man durch Schmelzen bezw. Erhitzen der anderen erhält, Elektrizitätsleiter ist, der die Eigentümlichkeit besitzt, dass seine Leitfähigkeit mit der Beleuchtung zu bezw. abnimmt. Bei geeigneter Anordnung leitet diese Form des Selens bei Beleuchtung den elektrischen Strom viele Male besser, als wenn es sich im Dunkeln befindet.

In einer am 12. Februar 1873 an den Präsidenten der Gesellschaft englischer Telegraphen-Ingenieure in London, Latimer Clark, gesandten Mitteilung, drückte Smith diese Entdeckung May's recht treffend aus, indem er schrieb:

„Mit Hilfe eines Mikrophons kann man das Laufen einer Fliege so laut hören, dass es dem Trampeln eines Pferdes auf einer hölzernen Brücke gleich kommt, aber noch viel wunderbarer ist es meiner Ansicht nach, dass ich mit Hilfe eines Telephons einen Lichtstrahl auf eine Metallplatte fallen hörte."

Um den hohen Widerstand der Selenpräparate und damit die Schwierigkeiten des Experimentierens mit denselben herabzusetzen, andererseits um die Lichtbeeinflussung möglichst zu begünstigen, wendet man nach dem Vorgange

von Werner Siemens (1875) sogenannte Selenzellen an, auf deren Konstruktion im allgemeinen hier aber nicht näher eingegangen werden soll.[1])

Bell, der geniale Erfinder des Telephons, war wohl der erste der, nachdem er das merkwürdige Verhalten des Selens unter dem Einflusse des Lichts kennen und nach mühsamen Versuchen brauchbare Selenzellen herzustellen gelernt hatte, gemeinsam mit Sumner Tainter die erste praktische Verwertung der elektrischen Lichtempfindlichkeit des Selens in Verbindung mit seinem Telephon zur Konstruktion eines photophonischen Empfängers machte (1878). [2])

Die von Bell zu diesem Zweck hergestellten flachen Selenzellen bestanden aus zwei mit zahlreichen Löchern versehenen Kupfer- oder Messingplatten, die durch eine dazwischengelegte Glimmerplatte isoliert sind. In die Löcher der einen Platte sind konische Messingzapfen eingesetzt, die in die Löcher der anderen Platte hineinragen, ohne jedoch die Platte selbst zu berühren.

Die ringförmigen Zwischenräume zwischen Löchern und Stiften werden mit geschmolzenem, schwarzen, glasigen Selen ausgefüllt und die Zelle sodann über einer Gasflamme solange erhitzt, bis das Selen zu schmelzen anfängt und in die schiefergraue kristallinische Modifikation übergeht.

Zylindrische Zellen zur Anwendung in Parabolspiegeln stellten Bell und Tainter aus abwechselnd aufeinander geschichteten kreisförmigen Messing- und Glimmerscheiben her. Da die Glimmerscheiben etwas geringeren Durchmesser als die Messingscheiben besitzen, so bleibt an ihrem Rande eine ringförmige Nute, die mit geschmolzenem Selen ausgefüllt wird. Jeder Selenring steht also mit den beiden benachbarten Messingscheiben in Verbindung. Alle Metallscheiben grader Zahl sind unter sich und mit dem einen Pol der Zelle, ebenso alle ungraden unter sich und mit dem anderen Pol der Zelle verbunden. Die Selenringe sind also alle parallel geschaltet und bieten dem elektrischen Strome nach Ueberführung in den kristallinischen Zustand wenig Widerstand.

Während bei der oben beschriebenen flachen Selenzelle die eigentliche lichtempfindliche Fläche nur 0,11 der ganzen Zellenfläche ausmachte, beträgt bei dieser bedeutend günstigeren Anordnung das gleiche Verhältnis 0,6.

Der Widerstand einer Bell'schen Zelle betrug etwa 1200 Ohm im Dunkeln, 600 Ohm bei Beleuchtung.

Um in einem mit einer derartigen Selenzelle verbundenen Telephon die auf der Sendestation gesprochenen Worte wiederzugeben, war es noch nötig, einen Sendeapparat zu konstruieren, der durch die Sprachwellen derartig beeinflusst wird, dass in einem zur Empfangsstation gerichteten Lichtbündel Licht-

---

[1]) Ausführlichere Angaben siehe in: Ernst Ruhmer, Das Selen. Berlin 1902.

[2]) Vgl. hierzu auch: Alexander Graham Bell, Das Photophon. Vortrag aus dem Englischen. Leipzig 1880.

schwankungen hervorgebracht werden, die den durch die Schallschwingungen der Sprache in der Luft erzeugten Druckschwankungen völlig entsprechen.

Bell und Tainter haben ungefähr fünfzig Methoden angegeben, um einen Lichtstrahl in der angegebenen Weise zu beeinflussen.

Man kann zwei Gruppen von Methoden unterscheiden. Bei der einen wird eine Lichtquelle konstanter Intensität verwendet und die von derselben aus-

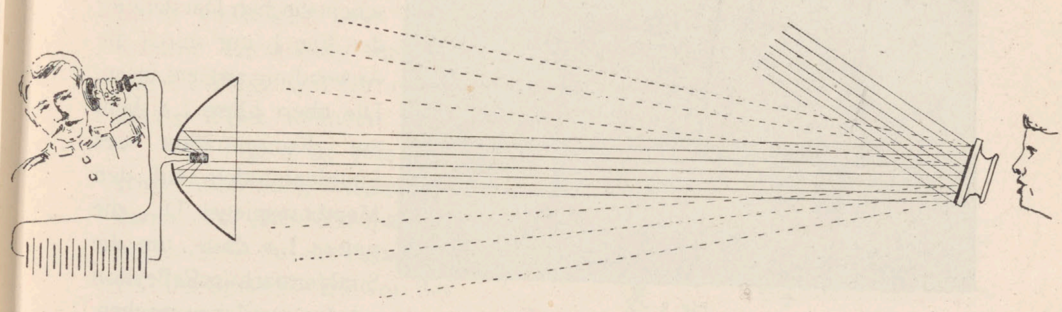


Fig. 1.

gehenden Lichtstrahlen an irgend einer Stelle ihrer Bahn modifiziert, bei der anderen Gruppe kommt eine Lichtquelle mit einer den Schallschwingungen entsprechend veränderlichen Intensität zur Anwendung.

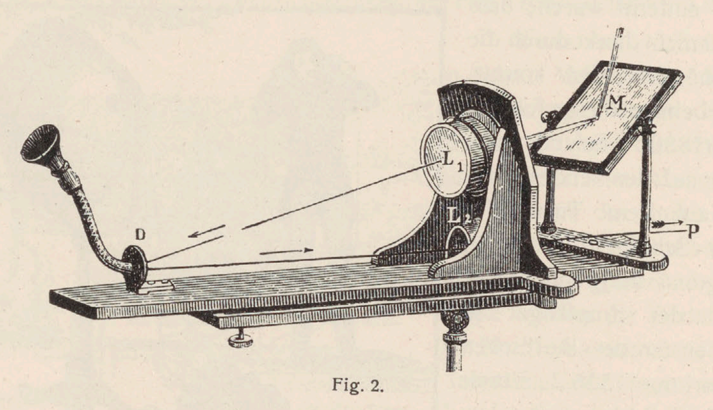


Fig. 2.

Bei dem ursprünglichen Bell'schen Photophon, das zur ersten Gruppe gehört, werden die Sonnenstrahlen durch einen Spiegel auf die versilberte Glas- oder Glimmermembrane eines Sprachrohrs geworfen und von dieser nach der Empfangsstation hin reflektiert (Fig. 1). Da die Membrane, den Sprechschwingungen entsprechend, bald konkav, bald konvex gekrümmt wird, so werden die praktisch parallelen Sonnenstrahlen bald konvergieren, bald divergieren und so in stark variierender Intensität auf den Spiegel der Empfangsstation

treffen. In diesem Spiegel werden dann die Strahlen auf die im Brennpunkt angebrachte Selenzelle konzentriert und setzen sich in den mit derselben und einer Batterie in Serie geschalteten Telephonen wieder in Schallwellen um.

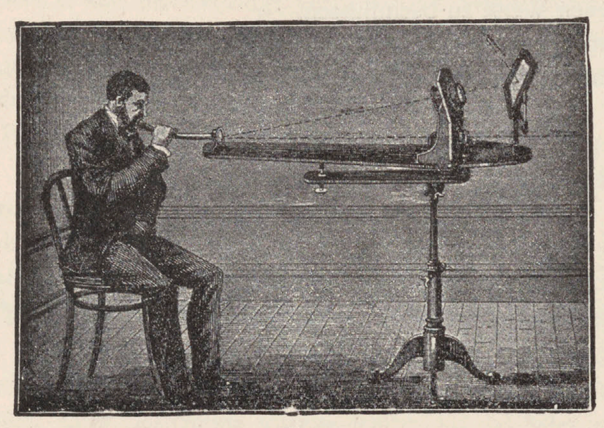


Fig. 3.

Der von Bell bei seinen Versuchen benutzte Sender (Fig. 2) unterscheidet sich von der Anordnung der schematischen Darstellung der Fig. 1 nur durch die Anwendung zweier Linsen. Die obere Linse L 1 dient zur Konzentration des Strahlenbündels auf den Membranspiegel D, die untere L 2 dazu, um die Strahlen nach der Reflektion wieder parallel zu machen. Fig. 3 und 4 zeigen die Bell'sche Sende- und Empfangsstation in Funktion.

Mit den abgebildeten Apparaten führten Bell und Tainter eine grosse Anzahl von Versuchen aus, bei denen Sende- und Empfangsapparate so weit von einander entfernt waren, dass der Schall nicht direkt durch die Luft gehört werden konnte.

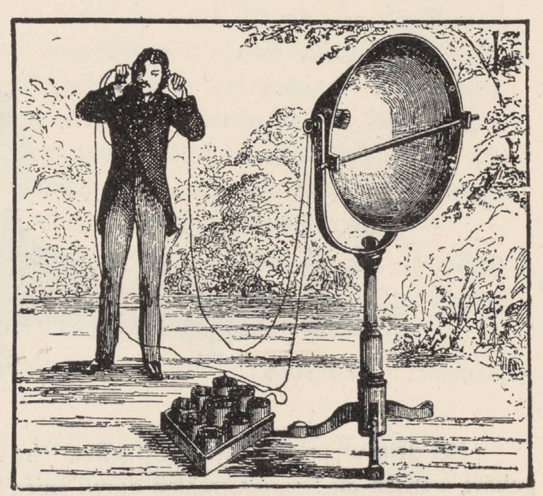


Fig. 4.

Bei einem dieser Experimente (1880) befand sich Tainter auf der Sendestation, welche auf dem Turm des Franklin - Schulgebäudes in Washington aufgebaut war, während der Empfänger in einem Fenster des Bell'schen Laboratoriums 1325 L Strasse in einer Entfernung von 213 m stand.

Als Bell das Telephon von dem beleuchteten Empfänger ans Ohr brachte, hörte er deutlich die Worte: „Herr Bell, wenn Sie verstehen, was ich sage, so kommen Sie ans Fenster und schwenken Sie Ihren Hut." Die Uebertragung der Sprache durch Lichtstrahlen gelang also auf diese kurze Entfernung vollkommen.

An Stelle der Sonnenstrahlen kann man bei der Bell'schen Anordnung natürlich auch die parallel gemachten Strahlen einer Bogenlampe anwenden (Fig. 5).

Zur gleichen Gruppe von Sendern wie das oben beschriebene Photophon gehören auch die Methoden, bei denen die Beeinflussung des Lichtbündels dadurch erfolgt, dass man dasselbe durch eine Linse mit veränderlichem Brennpunkt gehen lässt, oder dass es polarisiert und dann durch elektrische oder magnetische Einwirkung auf die von Faraday und Kerr entdeckte Weise verändert wird.

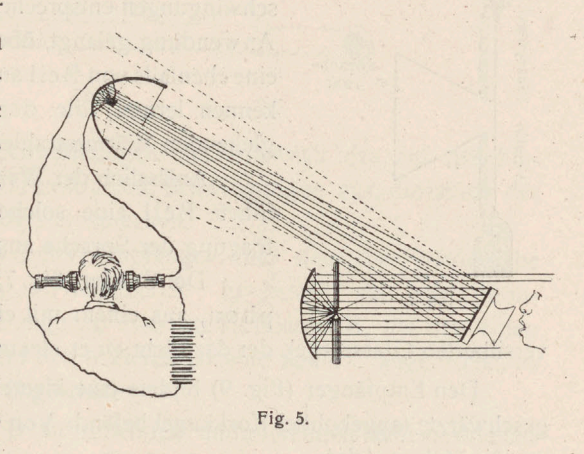


Fig. 5.

In Fig. 6 ist eine derartige Anordnung schematisch dargestellt. Das Mikrophon M liegt in Serie mit der Batterie B und der Spule S. Die von der Lichtquelle L ausgehenden Lichtstrahlen werden mittels einer Linse parallel gemacht und durch ein Nicol'sches Prisma P1 polarisiert. Nach dem Durchgang durch die Spule wird das Licht durch ein zweites quergestelltes Nicol'sches Prisma P2 ausgelöscht.

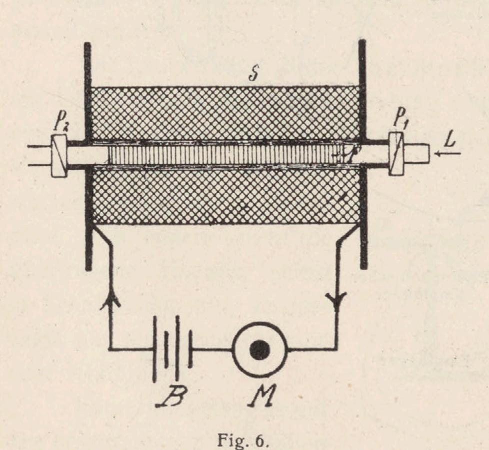


Fig. 6.

Wenn nun beim Sprechen in das Mikrophon M Stromschwankungen durch die Spule S fliessen, so wird die Polarisationsebene mehr oder weniger gedreht und dadurch das durch P1 polarisierte Licht für P2 mehr oder weniger durchgängig gemacht. Auf diese Weise werden die Beeinflussungen der Mikrophonmembrane in Lichtintensitätsänderungen umgesetzt. Zur Verstärkung der Wirkung kann die Spule einen unterteilten Eisenkern enthalten, dessen Längsachse zylindrisch durchbohrt ist. In diesem Hohlraum wird zweckmässig ein durchsichtiges, stark bleihaltiges Glas angeordnet, da ein solches eine grosse magnetooptische (Verdet'sche) Konstante besitzt. Diese Methode unterscheidet sich von der oben beschriebenen Art dadurch, dass man den Sendeapparat so einstellen kann, dass im Ruhezustande überhaupt kein Licht nach der Empfangsstation ausgesandt wird.

Es giebt noch viele andere sinnreiche Methoden, die zur ersten Gruppe gehören und hier aufgezählt werden könnten, die aber in bezug auf die drahtlose Telephonie prinzipiell nichts Neues bieten, so dass wir dieselben übergehen wollen.

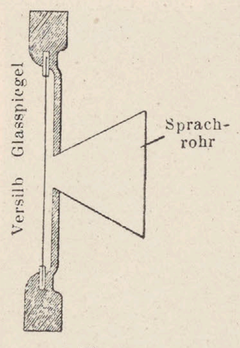


Fig. 7.

Ehe wir zu Methoden der zweiten Gruppe, bei denen im Sender eine Lichtquelle mit den Schallschwingungen entsprechend veränderlicher Intensität zur Anwendung gelangt, übergehen, wollen wir noch kurz eine ebenfalls von Bell angewandte Empfangsanordnung kennen lernen, die durch die die Lichtstrahlen begleitenden Wärmestrahlen betätigt wird.

Anlässlich der Weltausstellung in Chicago (1893) führte Bell eine solche thermophonische Uebertragung der Sprache aus. (Fig. 7—9).

Der Sender (Fig. 7) bestand wie bei dem Photophon, aus einem mit einem Sprachrohr verbundenen, versilberten Glasspiegel, der das Licht einer elektrischen Bogenlampe reflektierte.

Den Empfänger (Fig. 9) bildete eine kleine Glasbirne, in welcher sich eine geschwärzte (angekohlte) Korkkugel befand. Von der Birne führten Hörschläuche an die Ohren der Hörer. Die Korkkugel wird in die Nähe des Brennpunktes vom Parabolspiegel des Empfängers gebracht. Die mit den Lichtundulationen auftreffenden Wärmeschwankungen rufen, wie Bell nachgewiesen hat, entsprechende Volumenänderungen der Korkkugel und damit der in ihr enthaltenen und sie umgebenden Luft hervor, die natürlich durch die Hörschläuche als Schallwellen wahrgenommen werden.

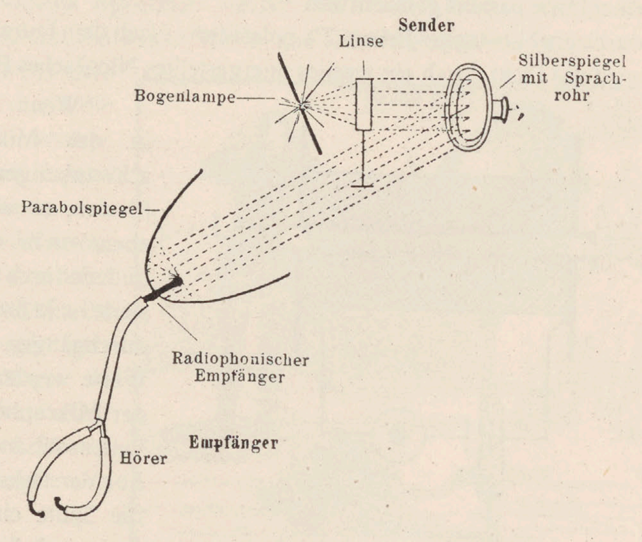


Fig. 8.

Fast identisch mit dieser Bell'schen Anordnung ist das von Mercadier vorgeschlagene Radiophon. Dasselbe unterscheidet sich von der ersteren nur

unwesentlich durch die Konstruktion des thermophonischen Empfängers. Letzterer besteht aus einem Glasröhrchen mit dünnen Wandungen, das an einem Ende geschlossen ist und eine berusste Glimmerplatte enthält. An das offene Ende sind wieder Hörschläuche angeschlossen, die ans Ohr gehalten werden.

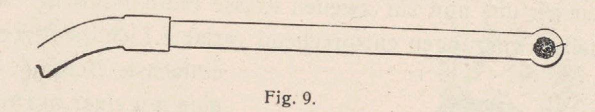


Fig. 9.

Die Glimmerplatte führt bei Schwankungen der Intensität der auf den Empfänger fallenden Licht- und Wärmestrahlen, Schwingungen aus, die jenen der versilberten Membrane des Senders entsprechen.

Ein anderer thermophonischer Empfänger, bei dem die Wiedergabe telephonisch erfolgt, ist in Fig. 10 abgebildet. Er besteht aus einer dünnwandigen, mit Lampenruss überzogenen eisernen Hohlkugel B, die den einen Pol des Magneten D bildet. Um den letzteren ist eine Spule C angeordnet, in deren Stromkreis das Telephon E geschaltet ist.

Die auf den Magnetpol B auftreffenden undulierenden Wärmestrahlen rufen entsprechende Variationen in der Stärke des permanenten Magneten und damit Induktionsströme in der Spule C hervor, welche telephonisch wahrgenommen werden. Eine ähnliche Umsetzung kann auch mittels Thermosäule erzielt werden.

Die Lautwirkung dieser Thermophone ist allerdings eine viel geringere als der Photophone bei Anwendung einer Selenzelle; die beschriebenen, sehr einfachen thermophonischen Empfänger stehen zur Selenzelle etwa in demselben Verhältnis wie ein telephonischer Sender zum Mikrophon, d. h. erstere setzen die übertragene Energie selbst in Schallwellen um, letztere wirkt nur auslösend für eine neue Kraftquelle.

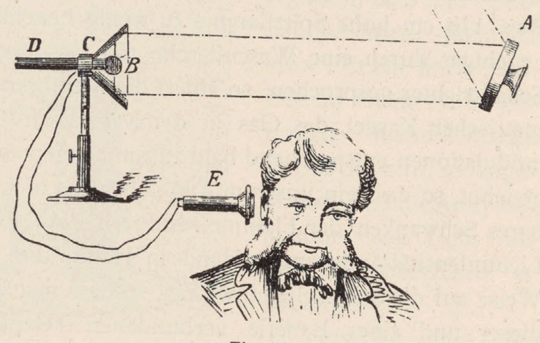


Fig. 10.

Immerhin gelang es mit den beschriebenen Bell'schen Apparaten auf der Ausstellung in Chicago deutlich gesprochene Worte auf etwa 100 m zu übermitteln. — An dieser Stelle sei auch noch kurz darauf hingewiesen, dass Tainter durch die aussergewöhnliche Empfindlichkeit berusster Flächen veranlasst wurde, in der Selenzelle das Selen durch Russ zu ersetzen.

Ein derartiger Empfänger, eine sogenannte Russzelle, wird dann ebenso wie eine Selenzelle mit Batterie und Telephon in Serie geschaltet.

Praktische Ergebnisse mit derartig verändertem thermophonischem Empfänger sind aber nicht bekannt geworden.

Wenden wir uns nun zur zweiten Klasse radiophonischer Sender, welche eine den Schallschwingungen entsprechend variable Lichtquelle benutzen. Das einfachste Beispiel dieser Art ist eine mit einer manometrischen (König'schen) Kapsel verbundene Gasflamme.

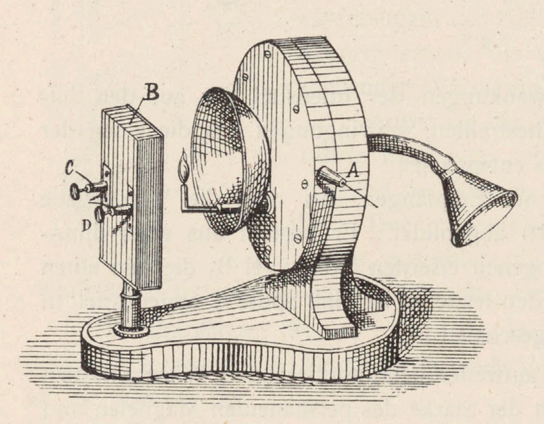
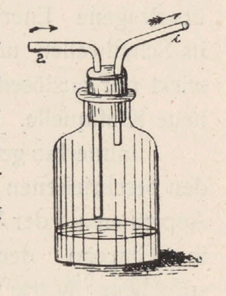


Fig. 11.

Es lässt sich nicht mit Sicherheit angeben, wem die Priorität gebührt eine derartige Flamme zuerst zu radiophonischen Versuchen benutzt bezw. vorgeschlagen zu haben. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Bell'schen photophonischen Versuche in verschiedenen Köpfen zu gleicher Zeit die gleiche Idee hervorgerufen haben.

Offenbar eine der ersten diesbezüglichen Veröffentlichungen rührt von Andrew Jamieson in Glasgow her (Nature 10. II. 1881). Jene Beschreibung veranlasste dann J. W. Giltay in Delft, das in Fig. 11 abgebildete Photophon zu konstruieren. Dasselbe besteht aus der mit Schalltrichter versehenen manometrischen Kapsel A als Sender und der Selenzelle B als Empfänger. Da die etwa $1\,^1/_2$ cm hohe Spitzflamme zu wenig Leuchtkraft hatte, leitete Giltay das Leuchtgas durch eine Waschflasche mit Gasolindampf (Fig. 12). Wird in den Schalltrichter gesprochen, so zittert die Membrane der manometrischen Kapsel, das Gas in der Kapsel wird den Sprachmodulationen entsprechend bald zusammengepresst, bald ausgedehnt, so dass ein unserem Auge übrigens nicht wahrnehmbares Schwanken der Flamme resultiert. Mit diesem gehen Lichtintensitätsänderungen Hand in Hand, die in bekannter Weise auf die Selenzelle einwirken, so dass man in einem mit dieser und einer Batterie verbundenen Telephon deutlich jedes in das Sprachrohr gesprochene Wort verstehen kann.


Fig. 12.

Zum Beweise, dass die Uebertragung in der Tat nur durch das auf die Selenzelle auftreffende undulierende Licht erfolgt, nicht etwa durch andere Wirkungen, kann man zwischen das Flämmchen

und die Zelle einen undurchsichtigen Körper z. B. ein Stück Blech halten, die Uebertragung hört dann sofort auf.

Fig. 13 zeigt einen ähnlichen radiophonischen Apparat mit Thermosäule als Empfänger.

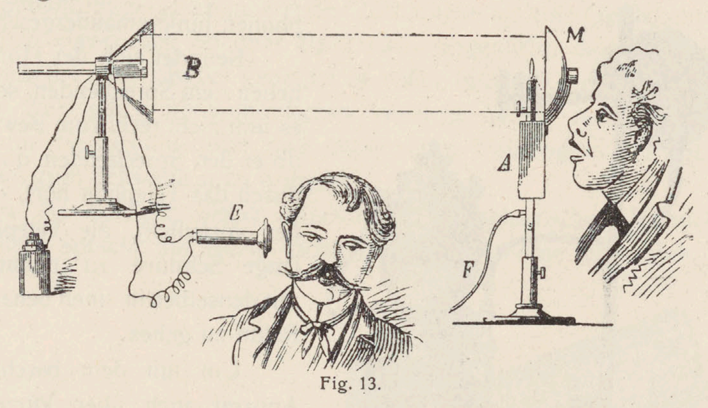


Fig. 13.

Später hat dann Giltay und Verfasser dieses das gewöhnliche Leuchtgas durch Acetylen ersetzt, um das Karburieren überflüssig zu machen.

Fig. 14 zeigt den ursprünglichen Giltay'schen photophonischen Demonstrations-Apparat, der neuerdings noch durch Anwendung dreier Acetylenflammen an Stelle einer einzelnen verbessert wurde (Fig. 15). Das Acetylengas wird in einem kleinen Entwickler *d*, ähnlich wie bei Acetylen-Fahrradlampen, aus Kalciumkarbid entwickelt. Die Wasserzufuhr des Entwicklers wird dabei so reguliert, dass die Spitzflamme bezw. -flammen etwa 1 1/2 cm hoch sind. Die an einem Stativ befestigte manometrische Kapsel *b* wird so angeordnet, dass die Acetylenflamme etwa 1 cm von der Selenoberfläche *a* entfernt ist.

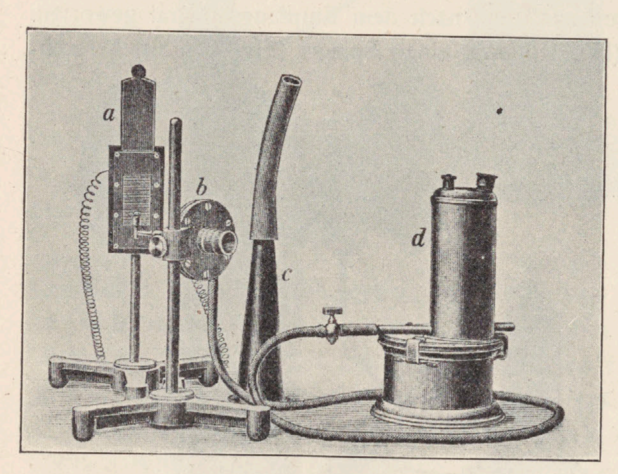


Fig. 14.

Fig. 16 zeigt den für Schulen und höhere Lehranstalten vom Verfasser konstruierten Apparat. Bei demselben ist die flache Selenzelle der Acetylenflamme gegenüber an dem senkrechten Brett des Holzgestelles befestigt und

wird sowohl von dem direkten als auch durch das vom Kugelspiegel reflektierte undulierende Licht beleuchtet. Die Selenzelle wird mittels der beiden Klemmen auf dem unteren Brett mit einer kleinen Batterie von Trockenelementen oder Akkumulatoren sowie zwei Telephonen hintereinandergeschaltet.

Fig. 15.

Befindet sich der Hörer dicht neben dem Sprechenden, so kommt es ihm nicht recht zum Bewusstsein, ob er den Sprechenden direkt oder durch das Telephon hört, es ist daher vorteilhaft, die Telephone an lange Schnüre zu nehmen und mit denselben in einen benachbarten Raum zu gehen.

Um mit dem beschriebenen Apparat auch über kürzere Entfernungen drahtlos zu telephonieren, werden der Blender und die Selenzelle aus ihren Fassungen entfernt und an Stelle der Selenzelle ein kleiner Parabolspiegel eingesetzt. Der Sendeapparat hat dann die in Fig. 17 abgebildete Gestalt. Das Licht des Acetylenflämmchens wird nun durch den Parabolreflektor parallel gemacht und nach dem Empfangsapparat geworfen. Dieser besitzt eine Linse (Fig. 18) oder einen Spiegel (Fig. 19), zur Konzentration der Strahlen auf die nunmehr hier eingefügte, verschiebbar angeordnete Selenzelle. Letztere wird wieder mit einer Batterie und zwei Telephonen in Serie geschaltet. Die Uebertragung der Sprache gelingt hierbei noch auf die Länge eines Hörsaales.

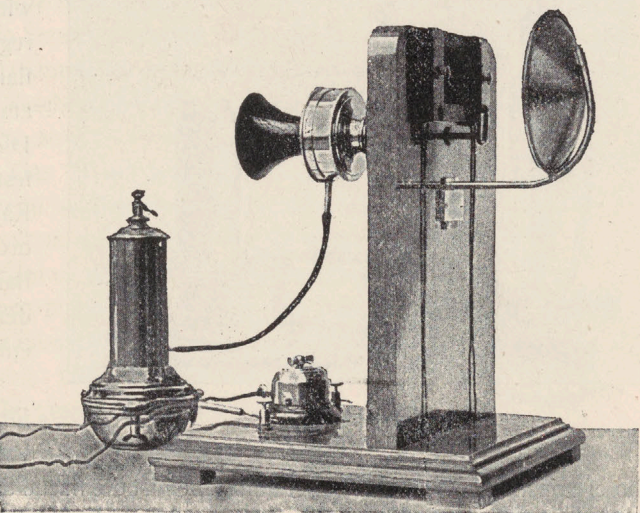


Fig. 16.

Anstatt gegen die manometrische

Kapsel direkt zu sprechen, kann man dieselbe auch telephonisch betätigen, wie solches für photophonische Zwecke zuerst wohl von Giltay ausgeführt wurde (Fig. 20).

Zur Ueberbrückung grösserer Entfernungen bedarf es aber einer stärkeren, zudem punktförmigeren undulierenden Lichtquelle als eine Gasflamme darstellt. Vorzüglich eignet sich offenbar elektrisches Bogenlicht, dessen Strahlen man durch Scheinwerfer parallel gerichtet in voller Intensität entsenden kann. Zur Zeit der Bell'schen photophonischen Versuche kannte man aber noch kein Mittel, um die Lichtintensität eines elektrischen Lichtbogens der Sprache entsprechend zum Schwanken zu bringen.

Da die bei den bisher angeführten radiophonischen Versuchen, die menschliche Sprache auf einem Lichtbündel in die Ferne zu senden, erzielten

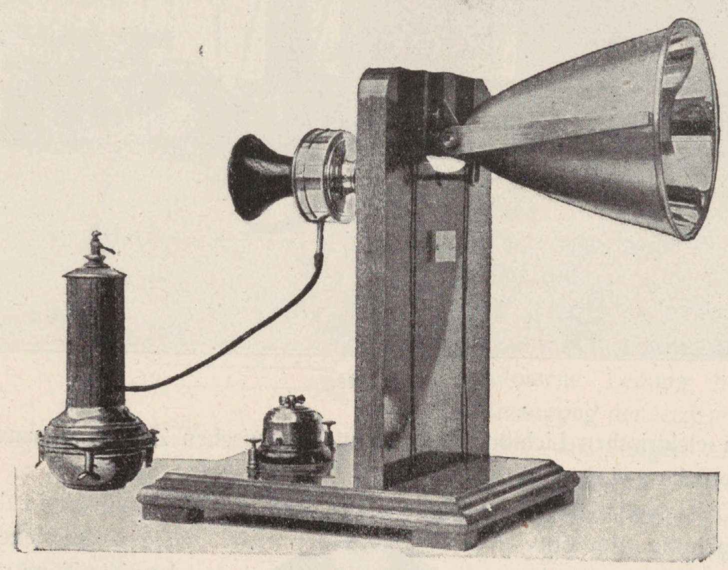


Fig. 17.

praktischen Resultate wenig befriedigend waren, so fielen dieselben, obwohl sie an Genialität dem Bell'schen Telephon, das seinen Siegeszug durch die ganze Welt antrat und heute zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel moderner Kultur geworden ist, in nichts nachstehen, bald der Vergessenheit anheim.

Erst die Entdeckung des sprechenden elektrischen Lichtbogens durch Simon[1]) (1898) brachte eine entscheidende Wendung in der weiteren Entwicklung der hier betrachteten Methode drahtloser Telephonie. Interessant ist in dieser Beziehung eine von Giltay (im Mechaniker 11, Seite 31. 1903)

[1]) Vgl. H. Th. Simon, Wied. Ann. 64, S. 233. 1898.

zitierte Notiz der Zeitschrift Engineering vom 5. November 1880, in welcher bereits vollkommen deutlich das Prinzip einen durch die Schallwellen beein-

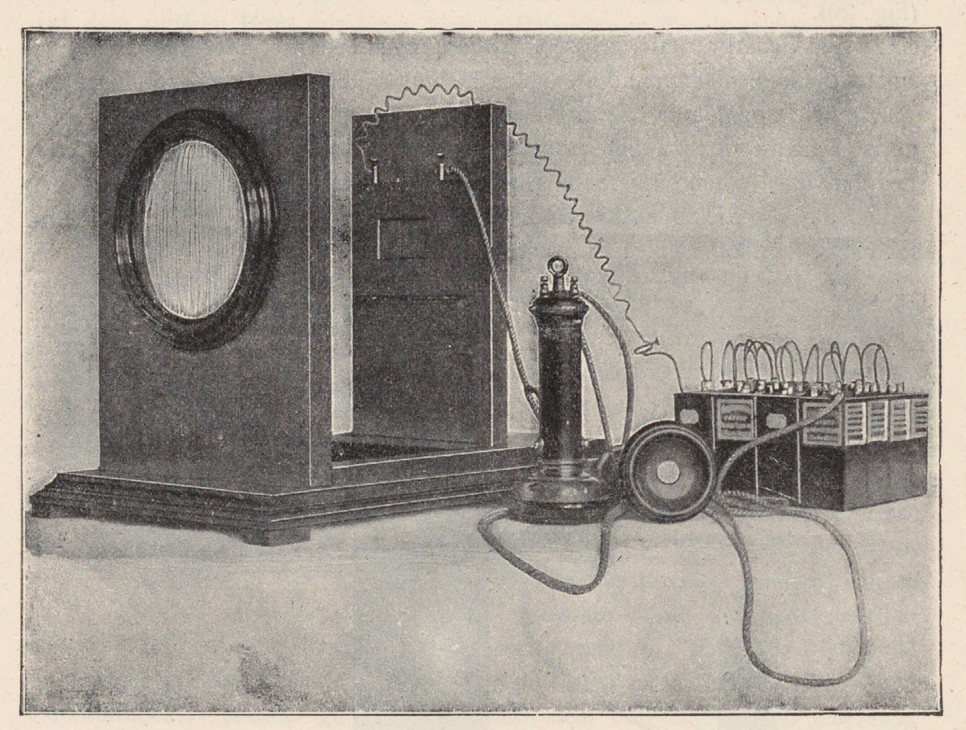


Fig. 18.

flussten elektrischen Lichtbogen zu lichttelephonischen Zwecken anzuwenden, ausgesprochen wird.

Diese Notiz lautet: „Es würde auch interessant sein, wenn eine zukünftige Untersuchung zur Entdeckung eines Mittels führen würde, um die Lichtintensität eines elektrischen Lichtbogens proportional den Tonschwingungen, welche die artikulierte Sprache bilden, zu ändern, so dass ein mit einer von diesem undulierenden Licht beleuchteten Selenzelle verbundenes Telephon die Töne reproduzieren würde, die die Lampe in Schwingungen versetzten.

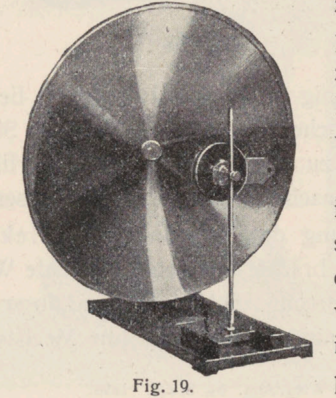


Fig. 19.

(„It would be highly interesting if future research should lead to the discovery of a means of varying the luminous intensity of the electric arc proportionately to the

sonorous vibrations constituting articulate speech, so that a telephone, in circuit with a photopile exposed to its rays, would reproduce the sound by which the light was in the first instance thrown into vibration.")

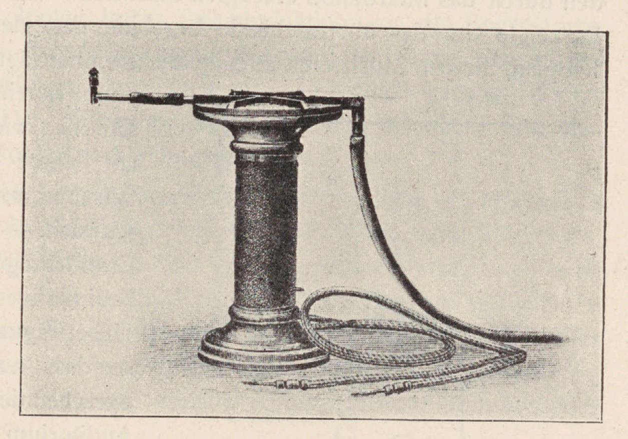


Fig. 20.

Wenden wir uns zunächst dem sprechenden elektrischen Flammenbogen zu. Ende des Jahres 1897 machte Simon am physikalischen Institut der Universität Erlangen die überraschende Entdeckung, dass eine elektrische Bogenflamme als telephonischer Empfangsapparat verwendet werden kann. Er beobachtete nämlich, dass der Lichtbogen einer Gleichstrombogenlampe mit einem intensiven knatternden Geräusche tönt, falls sich in der Nähe und gleichlaufend zur Bogenlampenleitung eine zweite von schwachen, rasch unterbrochenen Strömen durchflossene Leitung befindet. Zur Erzeugung der letzteren kann man den von einigen Akkumulatoren betriebenen Neefschen Hammer-Unterbrecher eines Induktoriums benutzen. Die durch die Stromunterbrechungen in den Zuführungsdrähten der Bogenlampe induzierten sekundären Stromschwankungen lagern sich über den Gleichstrom der Bogenlampe und bringen die merkwürdige akustische Wirkung hervor. – Da die Erscheinung schon durch sehr geringe Induktionsströme hervorgerufen wird, versuchte Simon den Flammenbogen durch die Stromschwankungen, wie sie beim Sprechen in ein Mikrophon entstehen, zum Sprechen zu bringen. Die benutzte Anordnung zeigt Fig. 21.

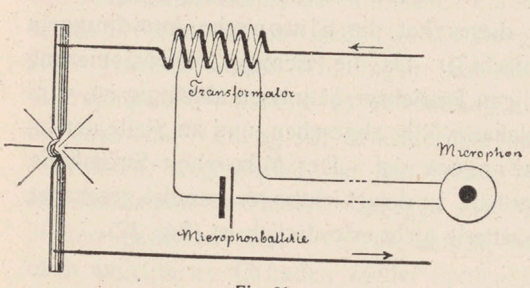


Fig. 21.

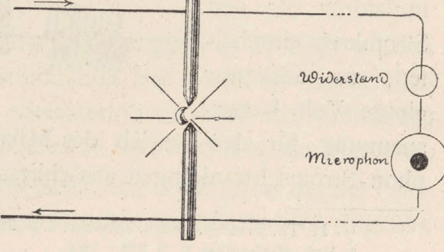


Fig. 22.

Zur Erhöhung der Wirkung ist in den Lampenstromkreis die sekundäre Wicklung eines Transformators eingeschaltet, dessen primäre Windungen von den durch das Mikrophon erzeugten Stromschwankungen durchflossen werden. Es zeigte sich das überraschende Ergebnis, dass der Flammenbogen Pfeifen, Klopfen, Singen, Musizieren aufs deutlichste überträgt, und selbst in das Mikrophon hineingesprochene Worte verständlich wiedergegeben werden. Die auf diese Weise hervorgebrachte Wirkung war jedoch verhältnismässig schwach. – Später gelang es durch Ermittelung der günstigsten Versuchsbedingungen [1]) die Lautstärke der Uebertragung bedeutend zu erhöhen, so dass man das Musizieren resp. Sprechen der Flamme einem grösseren Auditorium gut demonstrieren kann. Das Aufsehen erregende Experiment ist daher vielfach wiederholt worden.

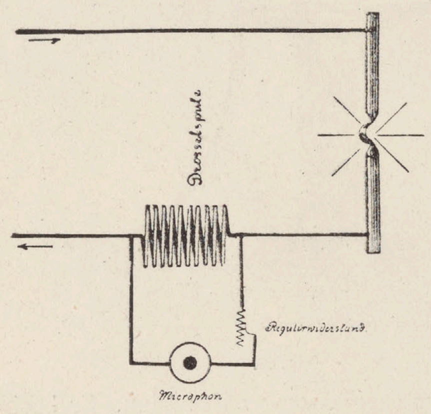


Fig. 23.

Wir wollen noch kurz einige andere Schaltungen anführen. Verfasser dieses hat die Simon'sche Anordnung in folgender Weise bedeutend vereinfacht [2]). Da die richtige Dimensionierung des Transformators von den jeweiligen Betriebsverhältnissen abhängig ist, wird hier von der Anwendung eines solchen völlig abgesehen, und an Stelle der inductiven Kopplung eine galvanische angewendet. Der Mikrophon-Stromkreis, der einen passenden Widerstand enthält, ist dem Lichtbogen parallel geschaltet, so dass eine besondere Mikrophonbatterie nicht erforderlich ist (Fig. 22).

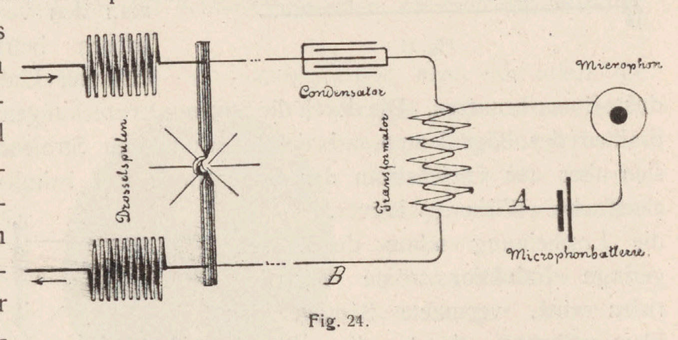


Fig. 24.

An Stelle des Widerstandes kann man auch eine entsprechende Anzahl von Polarisationszellen, z. B. Akkumulatoren, in den Stromkreis einschalten, so dass nur einige Volt Ueberspannung für den Betrieb des Mikrophons übrig bleiben. Um die Mikrophon-Stromschwankungen ausschliesslich über den Lichtbogen zu leiten und

---

1) H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 2. S. 253. 1901 und E. Ruhmer. Phys. Zeitschr. 2. S. 325. 1901.
2) Vgl. Mechaniker 8, S. 279. 1900.

einen Ausgleich derselben über die Speiseleitungen zu verhüten, schaltet man insbesondere bei Speisung des Lichtbogens von einer Akkumulatorenbatterie bezw. bei Netzanschluss, Spulen hoher Selbstinduktion vor die Bogenlampe, die wohl den Gleichstrom derselben ungehindert passieren lassen, den schnell variierenden Mikrophonströmen aber einen ausserordentlich grossen Widerstand entgegenstellen. Die Mikrophonströme gleichen sich dann fast ausschliesslich in dem induktionslosen Flammenbogen aus.

An Stelle der Parallelschaltung zum Lichtbogen kann man das Mikrophon auch von einem in die Speiseleitung eingeschalteten Widerstand abzweigen, wobei der Spannungsabfall zwischen den Abzweigpunkten etwa 4 – 6 Volt betragen kann. (Fig. 23). Damit die Mikrophonströme ihren Weg über den Lichtbogen nehmen, muss der gemeinsame Teil des Lichtbogen- und des Mikrophon-Stromkreises eine gewisse Selbstinduktion besitzen. Diese Schaltung wurde gleichzeitig und unabhängig von einander von Simon und vom Verfasser angegeben und benutzt.

Eine weitere in Fig. 24 schematisch dargestellte Schaltung mit inductiver Kopplung rührt von Duddell her[1]). Derselbe benutzt ebenfalls einen von den Mikrophonströmen durchflossenen Parallelkreis zum Lichtbogen. In demselben befindet sich die sekundäre Wicklung eines Transformators, dessen aus einer gleichen Anzahl Windungen bestehende primäre Wicklung mit einem Mikrophon nebst Batterie in Verbindung steht (Mikrophonstromkreis A). In die sekundäre Leitung (B) ist ausserdem noch ein Kondensator (von ca. 3 – 5 Microfarad) eingeschaltet, der den Eintritt des Lampen-Gleichstromes in die Induktionsspule verhindert, dagegen die Mikrophon-Induktionsströme ungehindert passieren lässt. Vor die Lampe, in die Speiseleitungen sind aus den oben angeführten Gründen wieder Spulen hoher Selbstinduktion zu schalten, falls zur Speisung eine Akkumulatorenbatterie oder Netzanschluss angewendet wird. Dient eine Dynamomaschine zum ausschliesslichen Betrieb der Anordnung, also ohne dass z. B. auch Glühlampen oder dgl. induktionslose Stromverbraucher gleichzeitig angeschlossen sind, so ist die Einschaltung besonderer Drosselspulen überflüssig, da die Maschine selbst schon eine beträchtliche Selbstinduktion besitzt.

Im gleichen Falle, bei Anwendung der Schaltungen Fig. 21 u. 23 würden die Mikrophonströme infolge der Selbstinduktion der Maschine beträchtlich gedrosselt und geschwächt werden. Man erleichtert ihnen daher den Uebergang durch Einschaltung von Kondensatoren parallel zu den Klemmen der Maschine.

Endlich sei noch eine hierher gehörige Schaltung erwähnt, bei der der Feldmagnetstrom der Dynamo durch die Mikrophonströme beeinflusst wird (Fig. 25).

---

[1]) W. Duddell. The Electrician 46. No. 8 u. 9. 1900, und Phys. Zeitschr. 2. S. 425 u. 440. 1901.

Diese Anordnung bewirkt, dass die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine genau den Mikrophonschwankungen entsprechend oscilliert, so dass sämtliche von der Maschine gespeiste Bogenlampen das nachsprechen, was man in das Mikrophon an der Dynamomaschine hineinspricht. Diese Schaltung hat Simon in Frankfurt a. M. zur Veranstaltung von Bogenlampen-Konzerten benutzt.

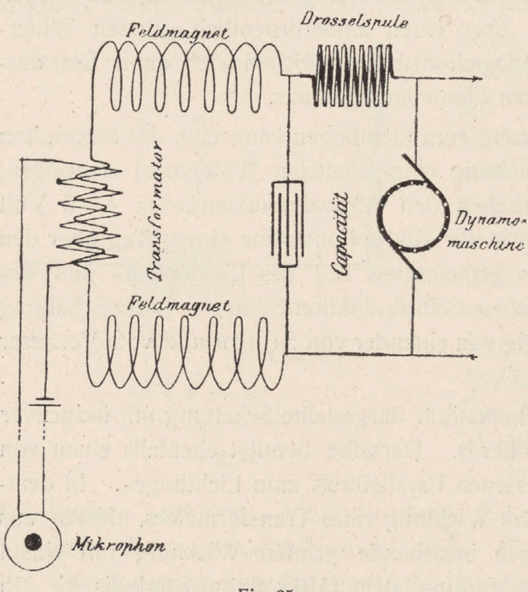


Fig. 25.

Was nun die Theorie der auf den ersten Blick in Erstaunen setzenden Erscheinung anbetrifft, so treten in dem Flammenbogen bei den kleinsten Stromstärkeänderungen infolge Aenderung der Joule'schen Wärme Temperaturschwankungen auf, die entsprechende Volumenschwankungen der den Flammenbogen leitenden Gase zur Folge haben.

Zur Erzielung recht lauter Wirkungen des sprechenden Flammenbogens ist es daher in allen Fällen nötig, die Amplituden der dem Gleichstrom aufgeprägten Stromschwankungen möglichst gross zu machen.

Neben der Anwendung eines empfindlichen Mikrophons ist im Falle der Benutzung eines Transformators dessen richtige Dimensionierung von Wichtigkeit.

F. Braun[1]) hat ferner darauf hingewiesen, dass man bei gleicher Amplitude der Stromschwankungen mit zunehmender Lampenstromstärke bessere Wirkungen erzielen muss. Dies wird auch durch die Erfahrung bestätigt.

Vorteilhaft ist es endlich, möglichst lange Flammenbogen zu benutzen. Man wendet zu diesem Zweck Dochtkohlen oder noch besser mit Salzen imprägnierte Kohlen (z. B. sogenannte Effektkohlen) an, die, zumal bei höherer Spannung (160 Volt Lampenspannung) und Stromstärke (10 – 20 Amp.) einen sehr langen (5 – 7 cm) Flammenbogen erzielen lassen.

Fig. 26 u. 27 zeigen ein komplettes von der Fabrik elektrischer Apparate Dr. Max Levy in Berlin nach den Angaben des Verfassers konstruiertes Instrumen-

---

[1]) F. Braun. Wied. Ann. 65. S. 358. 1898.

tarium zur Wiederholung der interessanten Versuche. Der Sender besteht aus einem Berliner'schen Kohlenkörner-Mikrophon, wie solches auch vielfach bei den Fernsprech-Apparaten der Reichspost Verwendung findet, das mit dem in Fig. 27 dargestellten Anschlussapparat verbunden wird. Als Empfänger dient eine Handregulier-Bogenlampe, die zum Schutz der Augen gegen das grelle Licht mit einem Schutzschirm versehen werden kann.

An dieser Stelle sei noch kurz der Umkehrung der sprechenden Bogenlampe gedacht, einen elektrischen Flammenbogen als Mikrophon zu benutzen. (Simons lauschender Lichtbogen [1]). Hier rufen die Schallwellen Volumenänderungen des Bogens hervor, die wiederum Stromschwankungen im Lampenstromkreis zur Folge haben. In Fig. 28 ist eine diesbezügliche Anordnung, wie sie Simon gelegentlich eines in der Sitzung des Elektrotechnischen Vereins zu Berlin am 23. April 1901 gehaltenen Experimental-Vortrags benutzte, dargestellt [2]). Der Lichtbogen befindet sich in der parabolischen Höhlung H eines Chamotteblockes B; zur Konzentration der Schallwellen dient der Schalltrichter T.

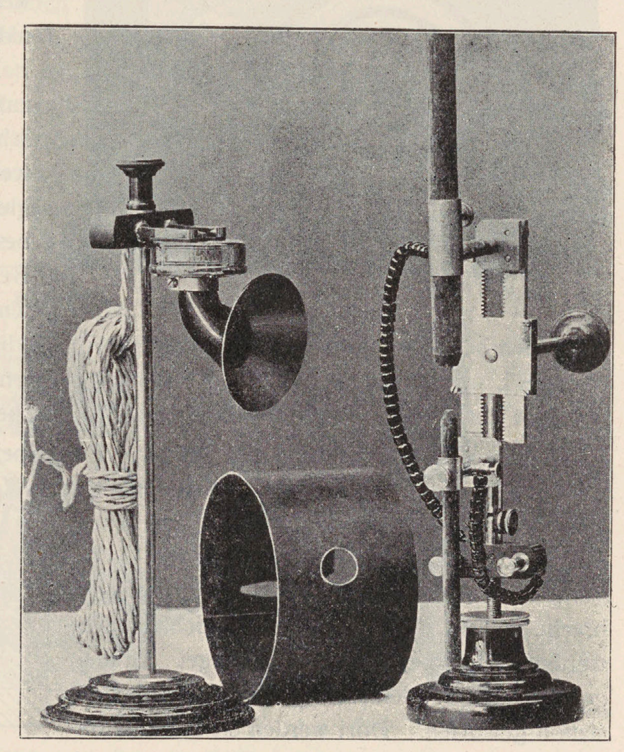


Fig. 26.

Bei der oben gegebenen Erklärung der sprechenden Bogenflamme wurde hervorgehoben, dass die Temperatur der sprechenden Flamme rasch oscilliert. Nach den durch die neuere Physik so meisterhaft ermittelten Strahlungsgesetzen glühender Körper hat aber jede Aenderung der Temperatur eine entsprechende Aenderung der Strahlungsstärke zur Folge. Wenn also die Temperatur des sprechenden Flammenbogens oscilliert, so muss auch die von ihm ausgehende Strahlung oscillieren.

1) Vgl. E. T. Z. Rundschau 19, S. 321. 1898.
2) E. T. Z. 22, S. 510. 1901.

Die sprechende Bogenlampe giebt somit einen zur zweiten Gruppe gehörigen photophonischen Sender ab, wie man ihn sich nicht besser wünschen kann, zumal bei Anwendung von Parabolspiegeln (Scheinwerfer) das undulierende Licht in voller Stärke entsendet und auf die Empfangsstation gerichtet werden kann.

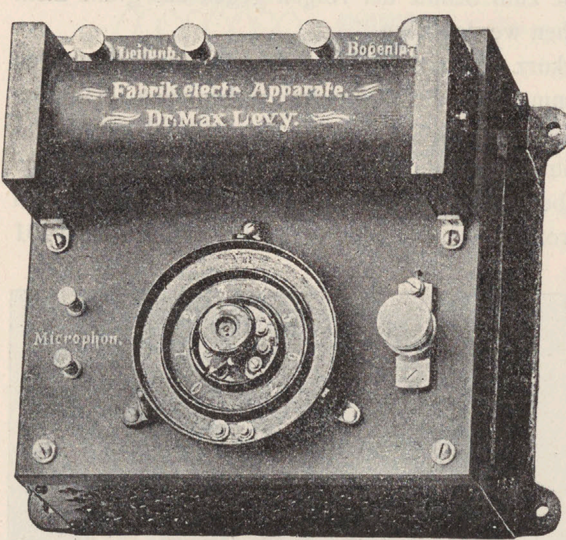


Fig. 27.

Wir werden noch weiter unten auf die günstigsten Betriebsverhältnisse der sprechenden Bogenlampe für photophonische Zwecke, die sich in einigen Punkten von jenen zur Erzielung guter akustischer Wirkungen wesentlich unterscheiden, näher eingehen.[1])

Als Empfangsanordnung zur Umsetzung der Lichtschwankungen in Schallwellen kann genau die gleiche wie bei den oben beschriebenen (nach dem Bell'schen Prinzipe arbeitenden) photophonischen Apparaten benutzt werden. — Eine derartige vollständige Einrichtung für elektrische Lichttelephonie oder Lichtfernsprechen, wie wir diese besondere Art der Photophonie nennen wollen, ist in Fig. 29 schematisch dargestellt.

Betrachten wir zunächst den Sender. Dem Speisestrom der Bogenlampe werden durch eine Induktionsspule oder in anderer Weise, wie wir bereits oben kennen lernten, die Stromschwankungen eines Mikrophons überlagert und dadurch die Lichtstärke der Lampe ebenfalls zum Schwanken gebracht. Diese undulierenden Lichtstrahlen werden durch einen Parabolspiegel parallel gerichtet und auf den Hohlspiegel der Empfangsstation geworfen. Dort werden sie auf eine im Brennpunkt angeordnete Selenzelle konzentriert, welche den Batteriestrom den Lichtschwankungen entsprechend zum Undulieren bringt, so dass das mittelst Licht übertragene Gespräch in den Telephonen wieder gehört werden kann.

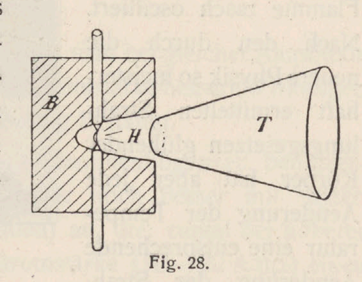


Fig. 28.

[1]) Auf diesen Unterschied und die wesentlichen Punkte hat zuerst Verfasser dieses in einer vom 19. Febr. 1901 datierenden Arbeit hingewiesen. Phys. Zeitschr. 2. S. 339. 1901.

Die Priorität, die sprechende Bogenlampe als photophonischen Sender benutzt zu haben, kommt ebenfalls Bell zu[1]). In Verbindung mit H. V. Hayes führte derselbe bereits im Jahre 1899, also kurz nach dem Bekanntwerden der sprechenden Bogenlampe auf der Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten im Madison Square Garden zu New-York eine Uebertragung der Sprache unter Benutzung einer mittels Mikrophon beeinflussten Bogenlampe vor, die in einem grossen Parabolspiegel angeordnet war. Als Empfänger benutzte er eine thermophonische Anordnung, ähnlich der schon früher beschriebenen,

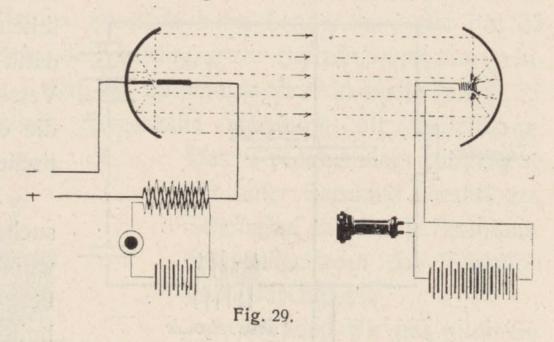
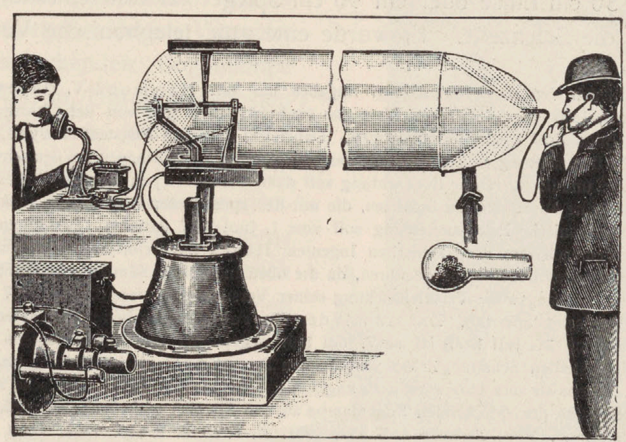


Fig. 29.

aus einer mit Kohlenfäden an Stelle des Korkwürfelchens gefüllten Glaskugel bestehend. Die letztere befand sich in dem Brennpunkt des Empfangsspiegels. Der Apparat übermittelte die Sprache auf etwa 120 m.

Warum Bell bei diesen Vorführungen keinen photophonischen Empfänger, d. h. eine mit Batterie und Telephon in Serie geschaltete Selenzelle benutzte, ist


Fig. 30.

nicht bekannt, wahrscheinlich unterliess er dies aber einfach aus dem Grunde, weil er über gute Selenzellen nicht verfügte.[2]) Jedenfalls lag es sehr nahe, einen

---

[1]) Vgl. Electrical Review. New York. Bd. 34. S. 325. 1899. Mechaniker 7. S. 236. 1899 und E. T. Z. 20. S. 459. 1899.

[2]) Eine wesentlich andere historische Darstellung als die oben gegebene befindet sich in einem kleinen, „The Radiophone" betitelten Heftchen, welches auf der Louisiana Purchase Exposition in St. Louis 1904 von der American Telephone and Telegraph Co. gelegentlich der Vorführung lichttelephonischer Versuche

derartigen Empfänger anzuwenden. Diesbezügliche Versuche haben dann Simon[1]) (später in Gemeinschaft mit Reich) und Verfasser[2]) dieses ausgeführt.

Wir wollen, unter Uebergehung der zahlreichen Laboratoriumsversuche[3]) zunächst kurz die wichtigsten Simon-schen Versuche besprechen und uns dann ausführlicher den zahlreichen Versuchen des Verfassers zuwenden, die elektrische Lichttelephonie praktischen Zwecken dienstbar zu machen.

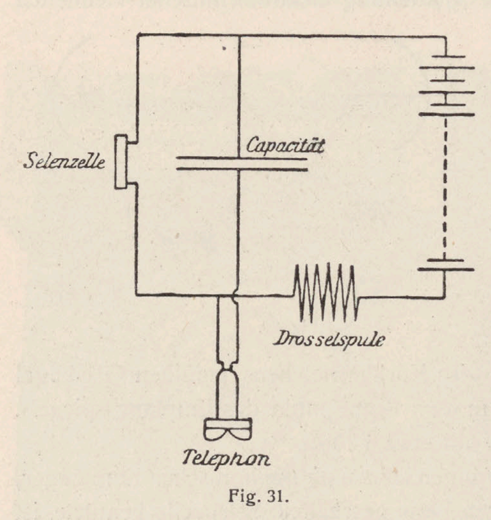


Fig. 31.

Die ersten Simon'schen Versuche über grössere Entfernung wurden im September 1901 in Nürnberg unter Verwendung eines parabolisch geschliffenen Schuckert-schen Scheinwerfers von 90 cm Durchmesser und 40 cm Brennweite, bezw. eines solchen von 150 cm Durchmesser und 60 cm Brennweite angestellt. Auf der Empfangsstation diente eine 30 cm Linse oder ein 90 cm Spiegel zur Konzentration der Lichtstrahlen auf die Selenzelle. Es wurde eine gute telephonische Verständigung

---

verteilt wurde. Nach den darin enthaltenen Angaben hat Mr. Hammond V. Hayes, ein Ingenieur obiger Gesellschaft, 1896 die Bell'schen Versuche (wahrscheinlich jene von der Chicagoer Ausstellung) mit elektrischem Bogenlicht wieder aufgenommen. Dabei soll dann ein Assistent Hayes, E. R. Cram, (im April 1897) die Beobachtung gemacht haben, dass der elektrische Lichtbogen bei den schwächsten Stromstärkeschwankungen unduliert. Diese Beobachtung soll dann weiter Hayes dazu geführt haben, als radiophonischen Sender eine Anordnung zu benutzen, die mit der sprechenden Bogenlampe identisch ist. Eine diesbezügliche amerikanische Patentanmeldung soll vom 1. Juni 1897 datieren. Bestätigen sich diese Angaben, so würde demnach dem amerikanischen Ingenieur Hayes die Priorität der Ausführung und Anwendung der sprechenden Bogenlampe gebühren, da die oben angeführte Simon'sche Veröffentlichung erst Ende 1897 datiert. (Auszugsweise Veröffentlichung seiner Versuchsergebnisse 8. Nov. 1897 in der Erlanger physikalisch-medizinischen Societät). Zusatz bei der Correctur: Das betreffende amerikanische Patent No. 654630 (erteilt am 31. Juli 1900) ist am 7. Juni 1897 angemeldet und enthält bereits die in Fig. 21, 22, 24 und 25 dargestellten Schaltungen der sprechenden Bogenlampe; als brauchbare Empfänger werden sowohl thermophonische als auch photophonische angeführt. Hiernach ist die Hayes'sche bezw. Bell'sche Priorität auch bezüglich der sprechenden Bogenlampe an und für sich nicht mehr zweifelhaft.

1) H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 2. S. 253. 1901. E. T. Z. 22. S. 510. 1901. Dass Simon die von Bell vorgeschlagene Verwendung der sprechenden Bogenlampe als radiophonischen Sender gekannt hat, geht aus einem vom 29. September 1899 datierten, an die Redaktion der Zeitschrift der Mechaniker gerichteten u. Mechaniker 7. S. 237, 1899 erwähnten Briefe hervor, in dem er die Funktion der Bell'schen Anordnung bezweifelt.

2) E. Ruhmer. E. T. Z. 22. S. 196. 1901. Phys. Zeitschr. 2. S. 325 u. 339. 1901. Verfasser hatte sich bereits im Jahre 1900 in dieser Angelegenheit mit der Elektrizitäts A.-G. vorm. Schuckert & Co. in Verbindung gesetzt.

3) Die erste lichttelephonische Vorführung durch Simon erfolgte in der Sitzung des Physikalischen Vereins in Frankfurt a. M. am 8. September 1900. Seine damaligen Versuchsbedingungen müssen aber noch sehr ungünstige gewesen sein, aus dem Misslingen einer weiteren diesbezüglichen Vorführung in der Frankfurter Elektrotechnischen Gesellschaft (6. Februar 1901), über die dem Verfasser ein längerer brieflicher Bericht vorliegt, zu schliessen.

auf 1200 m erzielt[1]). In Göttingen sollen später die Versuche auf eine Entfernung von ca. 2,5 km fortgesetzt worden sein. Näheres hierüber ist nicht bekannt geworden.

Simon benutzte beim Sender eine der Fig. 23 entsprechende Anordnung zur Beeinflussung des Lichtbogens. Auf der Empfangsstation kam die in Fig. 31 schematisch dargestellte Schaltung zur Anwendung. Das Telephon liegt zusammen mit einer Kapacität parallel zur Selenzelle, so dass der konstante Selenzellenstrom das Telephon nicht durchfliesst.

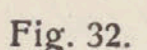


Fig. 32.

Wenden wir uns nunmehr etwas ausführlicher den Arbeiten des Verfassers auf diesem Gebiete zu. Diese Arbeiten schlossen sich an die schon oben erwähnten Versuche mit der sprechenden Bogenlampe (Anfang 1900) an. Um die günstigsten Betriebsverhältnisse derselben für photophonische Zwecke festzustellen, versuchte Verfasser die Lichtintensitätsschwankungen des Flammenbogens beim Sprechen, die man natürlich mit dem Auge nicht wahrnehmen kann, weil dasselbe auf so schnelle Schwankungen nicht reagiert, mit Hilfe der Photographie zu fixieren und zu untersuchen. Er bediente sich zu diesem Zweck eines Kinematographen ein-

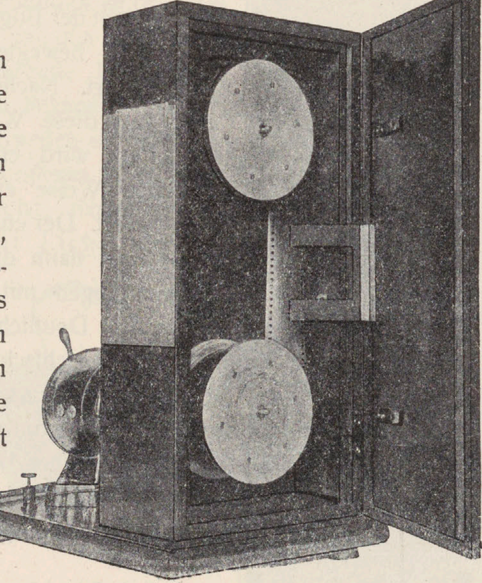


Fig. 33.

[1]) Vgl. Simon u. Reich. Vortrag auf der 73. Naturforscherversammlung zu Hamburg, 24. Sept. 1901, und Phys. Zeitschr. 3. S. 278. 1902; anlässlich dieses Vortrages fand auch eine Vorführung (23. Sept. 1901) statt. Der Sender (Schuckert-Scheinwerfer von 80 cm Oeffnung und 32 cm Brennweite) befand sich auf dem Dache des Hamburger Wilhelms-Gymnasiums, der Empfänger in dem ungefähr 1 km weit entfernten physikalischen Staatslaboratorium.

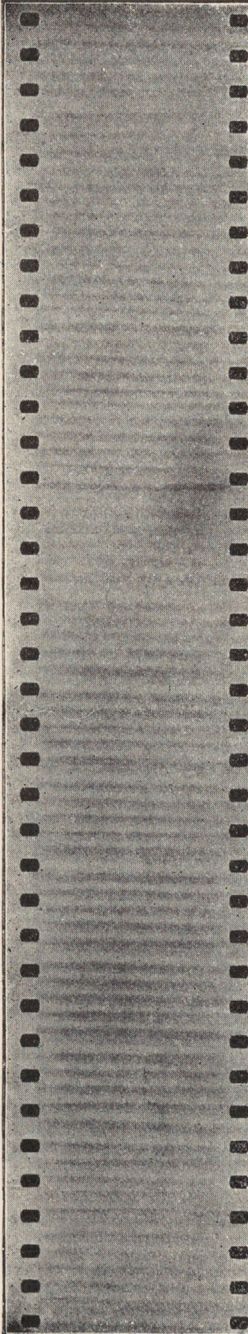
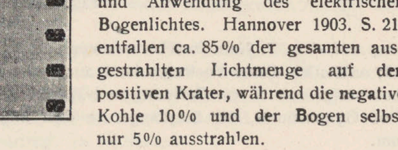


Fig. 34.

fachster Konstruktion. In einem lichtdichten Kasten (Fig. 32 und 33) befinden sich zwei Rollen, durch welche ein photographischer Film mit gleichmässiger Geschwindigkeit von der einen Rolle ab und auf die andere Rolle aufgewickelt wird. – Der Antrieb der Arbeitsrolle erfolgt durch einen kleinen Elektromotor und beträgt die Geschwindigkeit des Films mehrere Meter pro Sekunde. Der Film passiert dabei die Brennlinie einer Zylinderlinse, welche das undulierende Licht der Bogenlampe auf den bewegten Film konzentriert. Nachdem der Film auf diese Weise belichtet ist, wird er in der üblichen Weise entwickelt und fixiert. Der entwickelte Film zeigt dann die Lichtschwankungen mit um so grösserer Deutlichkeit, je grösser die Lichtschwankungen, die übrigens zum allergrössten Teil vom positiven Krater ausgehen,[1]) waren.

Erst nach vielen mühsamen Versuchen gelang es,



[1]) Nach Birrenbach (Theorie und Anwendung des elektrischen Bogenlichtes. Hannover 1903. S. 21) entfallen ca. 85 % der gesamten ausgestrahlten Lichtmenge auf den positiven Krater, während die negative Kohle 10 % und der Bogen selbst nur 5 % ausstrahlen.

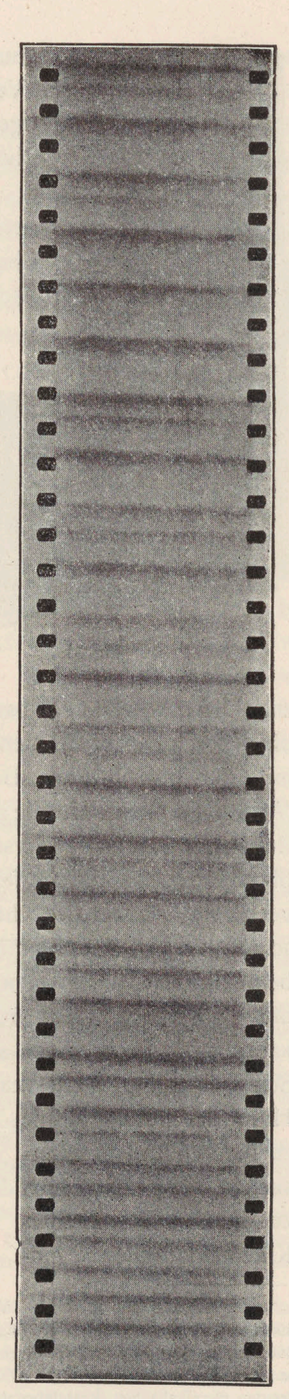


Fig. 35.

lichtbesprochene Films mit so vorzüglicher Ausprägung, wie sie Fig. 34 und 35 in natürlicher Grösse darstellen, zu erhalten. Die abwechselnd dunklen und hellen Streifen machen den Eindruck grosser Unregelmässigkeit, in Wirklichkeit sind sie sehr regelmässig, völlig harmonisch, nur wechselt ihre Anordnung den Sprachlauten und ihren Uebergängen entsprechend sehr rasch. Jedem Laut entsprechen ganz bestimmte Liniengruppierungen und lässt sich eine solche photo-phonographische Aufnahme bei einiger Uebung sogar ablesen.

Nachdem es so gelungen war, die günstigsten Betriebsverhältnisse der sprechenden Bogenlampe als undulierende Lichtquelle zu ermitteln, wir werden weiter unten noch hierauf zurückkommen, und die Lichtschwankungen in so wunderbarer Deutlichkeit zu fixieren, lag der Gedanke nahe, das Photophonogramm zur Reproduktion der Schallwellen zu benutzen, was in der Tat gelang.

Zu diesem Zweck wird der Film in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit wie bei der Aufnahme hinter dem Objektiv desselben Apparates hindurchgezogen, während vor dem Apparat die vorhin benutzte Bogenlampe — jetzt aber nicht sprechend, sondern bloss als Beleuchtungsapparat dienend — den Film beleuchtet. Hinter dem Film befindet sich, auswechselbar angeordnet, eine Selenzelle, die mit zwei hintereinander geschalteten Fernhörern und einer Batterie kleiner Trockenelemente verbunden ist (Fig. 36). Durch die verschieden starke Schwärzung des Films wird eine den aufgenommenen Schallwellen entsprechende undulierende Beleuchtung der Selenzelle hervorgerufen, die sich in bekannter Weise in den beiden Telephonen wieder in Schallwellen umsetzt.

Fürwahr ein weiter, vielgewundener Weg: der Ton wurde Elektrizität, wurde Licht, übte chemische Wirkungen aus, wurde wieder Licht, Elektrizität und endlich Ton, Schall.

Als Chladni s. Z. dem Kaiser Napoleon seine Klangfiguren vorführte, rief der Imperator erstaunt aus: „Grossartig, dieser Chladni lässt uns die Töne sehen!“ Wir sind heute noch etwas weiter; nicht allein sehen können wir die Töne, sondern auch die sichtbaren Töne wieder hören, wir binden die Licht gewordene Musik und Sprache an einen Gelatinstreifen, der sie aufbewahrt und zu jeder Zeit all die Empfindungen wieder auslöst, die uns durchströmten, als ihre Klänge beziehungsweise Laute zum ersten Male an unser Ohr drangen.

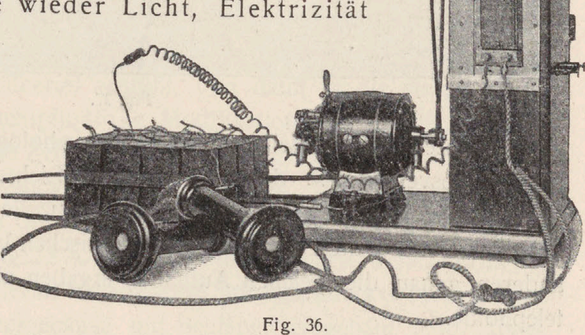


Fig. 36.

Die Wiedergabe dieses photographischen Phonographen, den Verfasser „Photographophon“ [1]), nannte und dessen neueste Ausführungsform Fig. 37 zeigt, ist überraschend deutlich und steht in der Lautstärke der Wiedergabe einer guten Telephonübertragung gleich. Vor dem gewöhnlichen Wachswalzen-Phonographen hat er den Vorzug reinerer Wiedergabe, da bei ihm alle auf mechanische Trägheit resp. Eigenschwingungen zurückzuführende Nebengeräusche völlig fortfallen. Ausserdem lassen sich von einer Sprachphotographie beliebig viele Reproduktionen anfertigen, die alle mit gleicher Genauigkeit die aufgenommenen Schallwellen wiederzugeben gestatten.

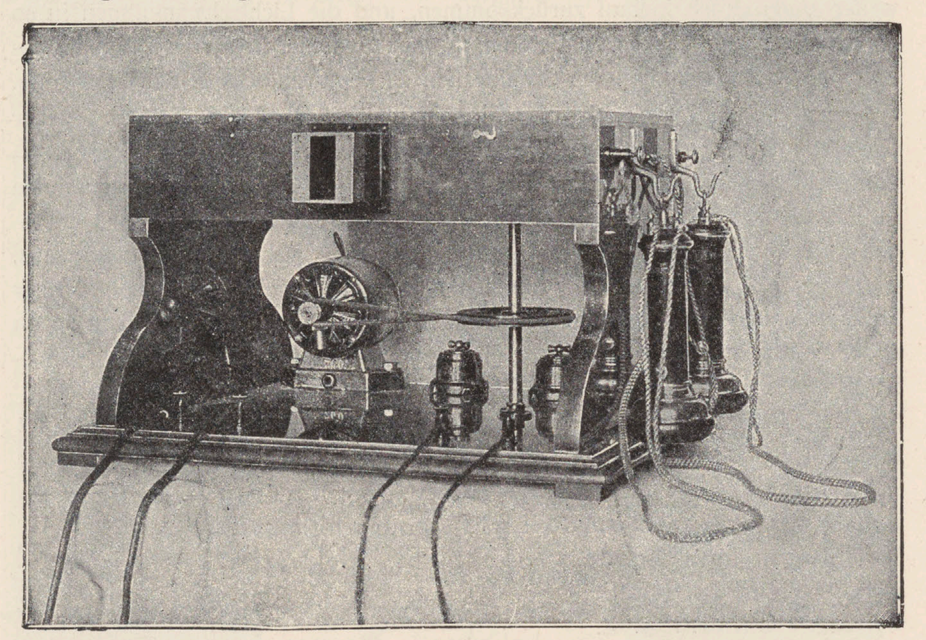


Fig. 37.

Während zur Erzielung brauchbarer photographophonischer Aufnahmen die Betriebsverhältnisse der undulierenden Lichtquelle ausschlaggebend sind, spielt bei der Reproduktion offenbar die Selenzelle eine Hauptrolle. Man sieht, dass sich also bei diesen photographophonischen Versuchen des Verfassers unter anderen genau die gleichen Aufgaben ergaben als bei der elektrischen Lichttelephonie.

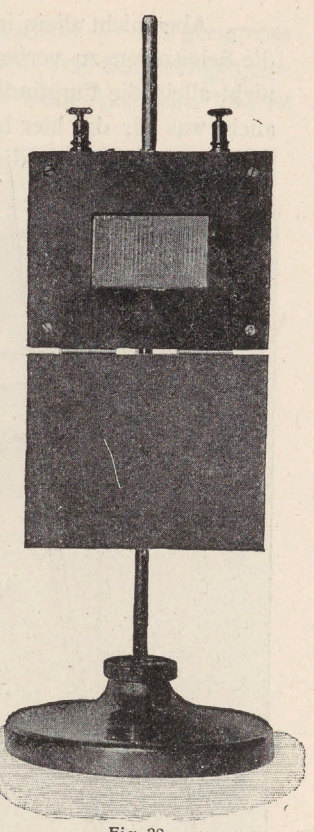
Das Bedürfnis nach einer hochempfindlichen Selenzelle veranlassten ein besonders eingehendes Studium des merkwürdigen Verhaltens des Selens. Zahl-

---

1) Mechaniker 9. S. 75 u. 169. 1901. Phys. Zeitschr. 2. S. 339 u. 498. 1901. Ann. d. Physik. 5, S. 803. 1901. Der Apparat wurde vorgeführt in der Polytechnischen Gesellschaft zu Berlin am 12. Dezember 1901, im Verein für Eisenbahnkunde zu Berlin am 11. Februar 1902 und im Beethovensaal der Philharmonie zu Berlin, anlässlich des Grammophonkonzerts am 9. April 1903.

reiche Untersuchungen und Versuche führten endlich auch zur Herstellung von Selenzellen, die den an sie zu stellenden Anforderungen in hohem Grade genügten.

Ausführlichere Angaben hierüber sind in der Broschüre des Verfassers: „Das Selen und seine Bedeutung für die Elektrotechnik", Berlin 1902, sowie in einer in der Physikalischen Zeitschrift 3. S. 468 – 474 (Juni 1902) erschienenen Arbeit über die Empfindlichkeit und Trägheit von Selenzellen enthalten.


Fig. 38.

Hier sei nur kurz erwähnt, dass sowohl Selenzellen flacher als auch zylindrischer Form, letztere insbesondere zur Anwendung in Parabolspiegeln für photophonische Zwecke, hergestellt wurden.

Als Körper für diese Zellen wird unglasiertes Porzellan oder Speckstein verwendet, auf welchen das Selen recht gut haftet. In den Träger sind nach Art einer doppelgängigen Schraube feine Nuten eingepresst bezw. eingeschnitten, in welche zwei Metalldrähte in erwärmtem Zustande gewickelt werden. Diese Metalldrähte bilden die Elektroden der Zelle und führen zu den Klemmen derselben. Die Ganghöhe der Doppelschraube ist so bemessen, dass die (ungleichpoligen) Elektroden in sehr geringem Abstand von einander verlaufen. – Das Selen wird in geschmolzenem Zustand aufgetragen, so dass es die Zwischenräume zwischen den Drähten überall ausfüllt, und dann in die stromleitende und lichtempfindliche Modifikation übergeführt, so dass ein in die Zelle gesandter elektrischer Strom von einem Draht (Anode) durch das Selen zum anderen Draht (Kathode) fliesst.

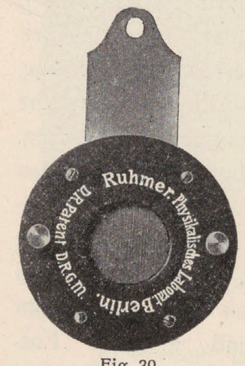


Fig. 39.

In Fig. 38 u. 39 sind derartige Zellen flacher Form, die in ein poliertes Holzgehäuse mit Klappdeckel bezw. in ein Hartgummigehäuse mit Schieber eingebaut sind, abgebildet. Die zylindrischen Zellen werden zum Schutze gegen Beschädigungen und Einflüsse der Atmosphäre in eine evacuierte Glasbirne eingeschlossen. Letztere ist mit Edisongewinde-Kontakt versehen, mittels dessen die Selenzelle leicht in eine Glühlampenfassung eingesetzt werden kann (Fig. 40).

Aber nicht allein in konstruktiver Hinsicht gelang es die Selenzellen zu verbessern, sondern auch an Qualität; nicht allein die Empfindlichkeit konnte gesteigert, sondern auch, was für das hier betrachtete Verwendungsgebiet besonders wertvoll ist, die Trägheit bedeutend vermindert werden. — Schon Anfang 1901 hatte Verfasser darauf hingewiesen [1]), dass sich mit vervollkommneten Selenzellen lichttelephonisch bedeutend grössere Entfernungen überbrücken lassen müssten als mit den damals im Handel befindlichen. Und in der Tat waren die Ergebnisse die Verfasser mit seinen verbesserten Selenzellen, zunächst auf geringere Entfernungen im Laboratorium und bei Vorführungen (auf der Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten im Architektenhause am 19. März 1902 [2]), sowie im Reichspostmuseum am 9. April 1902) erzielte, so überraschend günstige, dass er veranlasst wurde, die Versuche auf grössere Entfernungen fortzusetzen. Die vorher im Laboratorium bei den photographophonischen Versuchen mühsam gesammelten Erfahrungen, trugen hierbei ihre Früchte, so dass bereits bei den ersten Versuchen im Laboratorium der Natur bedeutend grössere Entfernungen überbrückt werden konnten

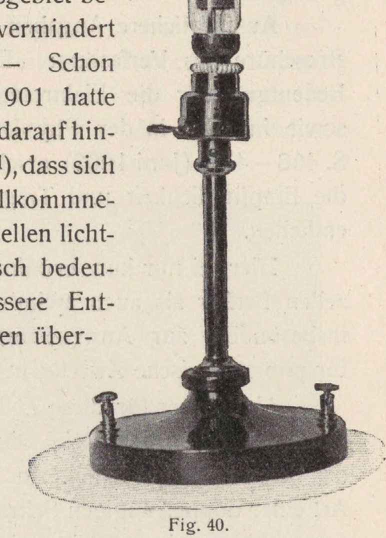


Fig. 40.

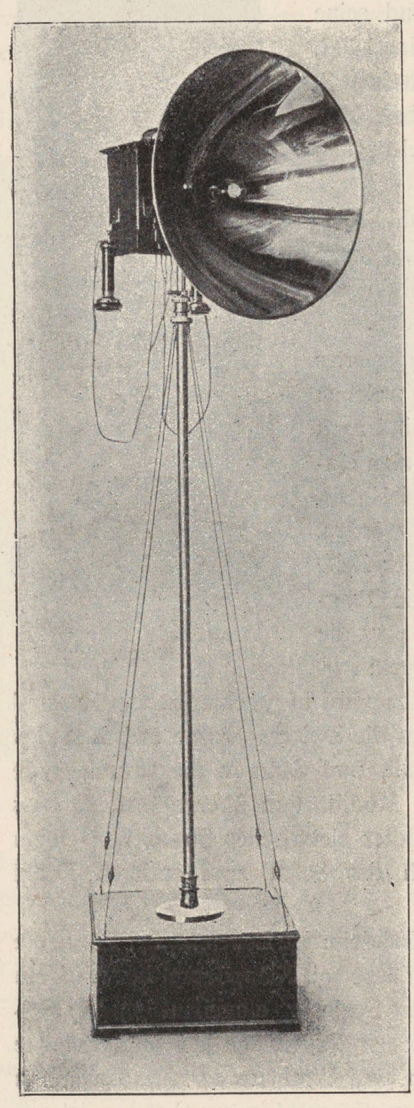


Fig. 41.

1) Vgl. E. T. Z. 22. S. 198. 1901.
2) Mechaniker 10. S. 66. 1902; und E. T. Z. 23. S. 643. 1902.

als bei allen vorher angestellten photophonischen Versuchen. — Als geeignetes Versuchsgelände erwies sich der Wannsee bei Berlin. Auf den dortigen seeartig ausgebreiteten Gewässern der Havel finden sich weite Ausblicke, und ist

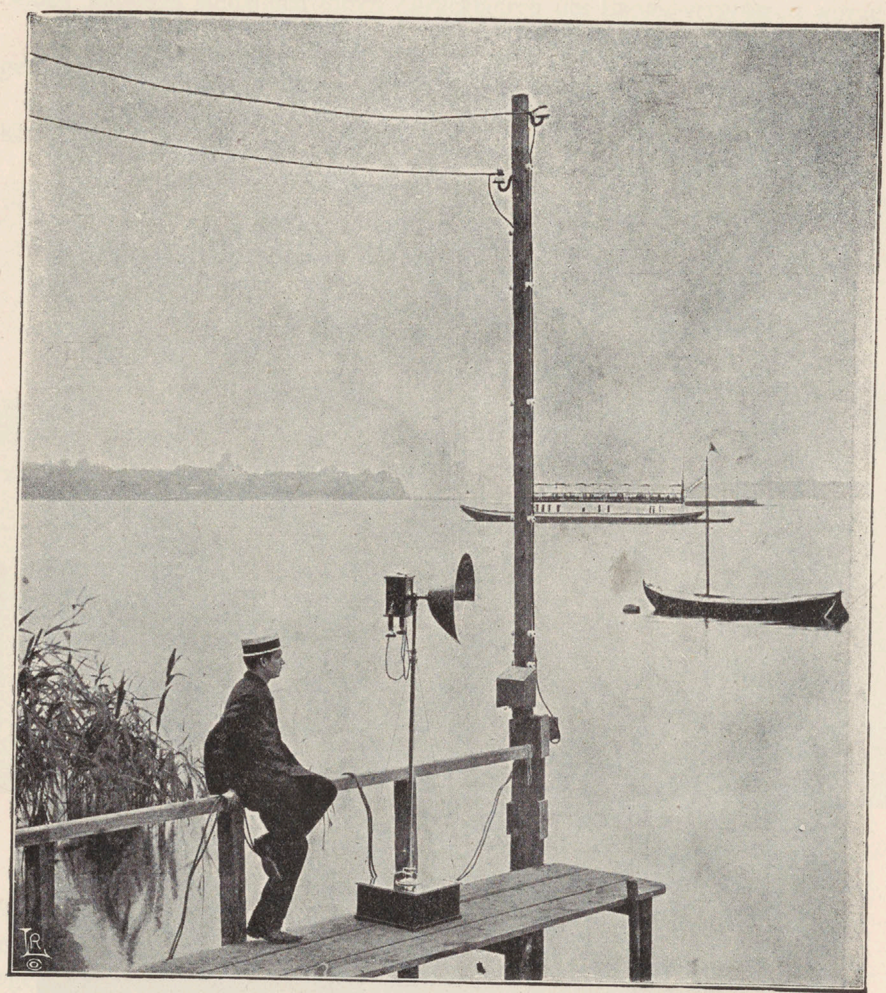


Fig. 42.

auch leicht elektrischer Anschluss an das am See gelegene Elektrizitätswerk herzustellen.

Ausserdem befand sich zur Zeit der damals (Sommer 1902) dort stattfindenden Motorboot-Ausstellung daselbst das der Hagener Akkumulatorenfabrik A.-G. gehörige Motorboot „Germania", welches mit Akkumulatorenbetrieb eingerichtet und von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert in Nürnberg mit

einem Torpedoboot-Scheinwerfer von 35 cm Oeffnung ausgestattet worden war. Beide Gesellschaften waren so liebenswürdig, mir das Akkumulatorenboot mit dem Scheinwerfer für die beabsichtigten Versuche zur Verfügung zu



Fig. 43.

stellen. Nachdem die Bogenlampe des Scheinwerfers mit der Induktionsspule und dem Mikrophon in Verbindung gebracht und der mit einem ca. 50 cm grossen Empfangsspiegel ausgerüstete Empfangsapparat (Fig. 41) am Lande beim

Wannsee-Elektrizitätswerk aufgestellt war (Fig. 42/43 zeigt die Empfangsstation auf einem in den See hinausgebauten Steg), konnte vom Boot (vgl. Fig. 44) nach dem Lande hin lichttelephoniert werden, während die Entfernung zwischen beiden Stationen allmählich durch Zurückfahren des Bootes vergrössert wurde.

In Fig. 45 ist ein Situationsplan wiedergegeben, mit den Strecken über die gesprochen wurde [1]).

1. Versuch am 4. Juli abends. Quer über den Wannsee hinweg, ca. 1,5 km. Klare Luft.

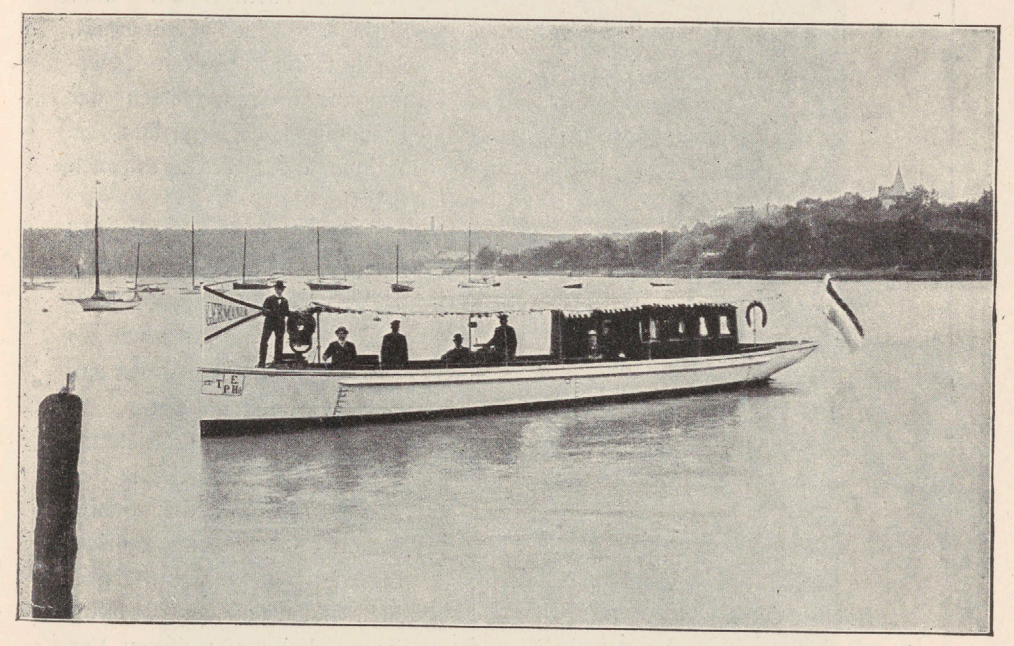


Fig. 44.

2. Versuch am 8. Juli, abends, von der Motorboot-Ausstellung (Bahnhof Wannsee) über den Wannsee hinweg bis in die Nähe von Neu-Cladow, ca. 3,8 km, nebelig. Die Sendestation befand sich bei diesem Versuch auf der am Ufer liegenden „Germania", die Empfangsstation auf dem Motorboot „Loreley".

3. Versuch am 9. Juli, abends. Quer über den Wannsee hinweg ca. 1,6 km, starker Regen. Die Versuche mussten bei 1,6 km abgebrochen werden, da einer der Teilnehmer die Akkumulatorenbatterie an der Empfangsstation in der Dunkelheit unvorsichtigerweise zerstörte.

4. Versuch am 16. Juli, nachmittags. Richtung nach Schwanenwerder, ca. 2,6 km, schwacher Sonnenschein.

[1]) Vgl. hierzu auch E. Ruhmer, E. T. Z. 23, S. 859. 1902.

Nachdem die örtlichen Verhältnisse auf dem Wannsee einer weiteren Ausdehnung der Versuche eine Grenze setzten, wurde nach Ueberwindung zahlreicher Schwierigkeiten ein neuer Versuch auf der Havel unternommen und zwar auf der grössten zur Verfügung stehenden Entfernung.

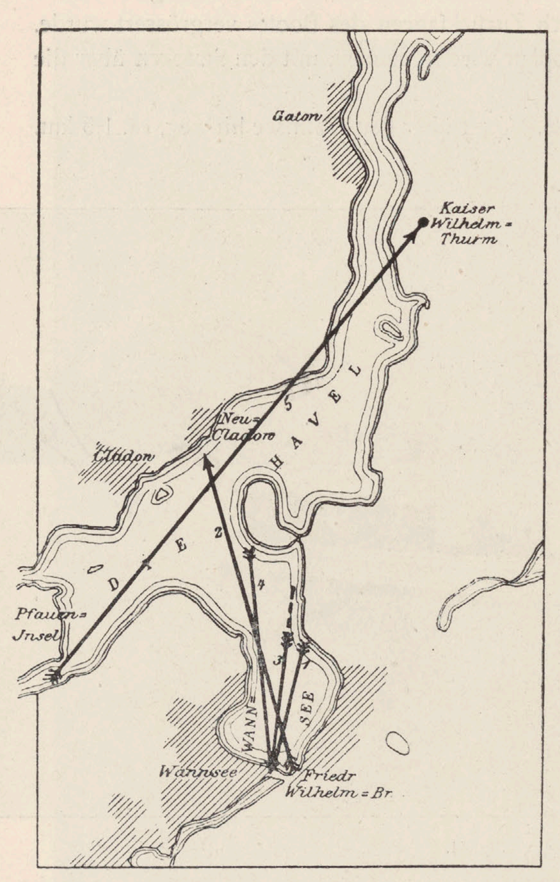


Fig. 45.

5. Versuch am 25. Juli, abends. Empfangsstation auf der Plattform des Kaiser Wilhelm-Turmes auf dem Karlsberg im Grunewald, Sendestation auf der „Germania“, Richtung nach der Pfaueninsel bei Potsdam, ca. 7 km, dicke Luft, schwach nebelig.

Die Uebertragung war bei allen Versuchen gut, bei dem letzten Versuch sogar überraschend laut und deutlich.

Da die Apparate nur einfach vorhanden waren, so konnte nur in einer Richtung telephoniert werden. Die Verständigung mit der Sendestation erfolgte durch optische Signale, zu welchem Zweck beim ersten Versuch eine Glühlampe, bei den weiteren Versuchen ein kleiner Bühnenreflektor (vgl. Fig. 46) und beim letzten Versuch vom Kaiser Wilhelm-Turm eine Acetylen-Blendlaterne benutzt wurde.

Da die örtlichen Verhältnisse eine weitere Ausdehnung der Versuche auf dem Wannsee und auf der Havel unmöglich machten, wurden dieselben, da die Grenze der Leistungsfähigkeit der Apparate noch nicht annähernd erreicht worden war, im Herbst 1902 von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert, den jetzigen Siemens-Schuckert-Werken, gemeinsam mit dem Verfasser zwischen zwei festen Stationen fortgesetzt. Es sollte hier zunächst das System bei den verschiedenen Witterungsverhältnissen erprobt und den Anforderungen der Praxis entsprechend ausgestaltet werden.

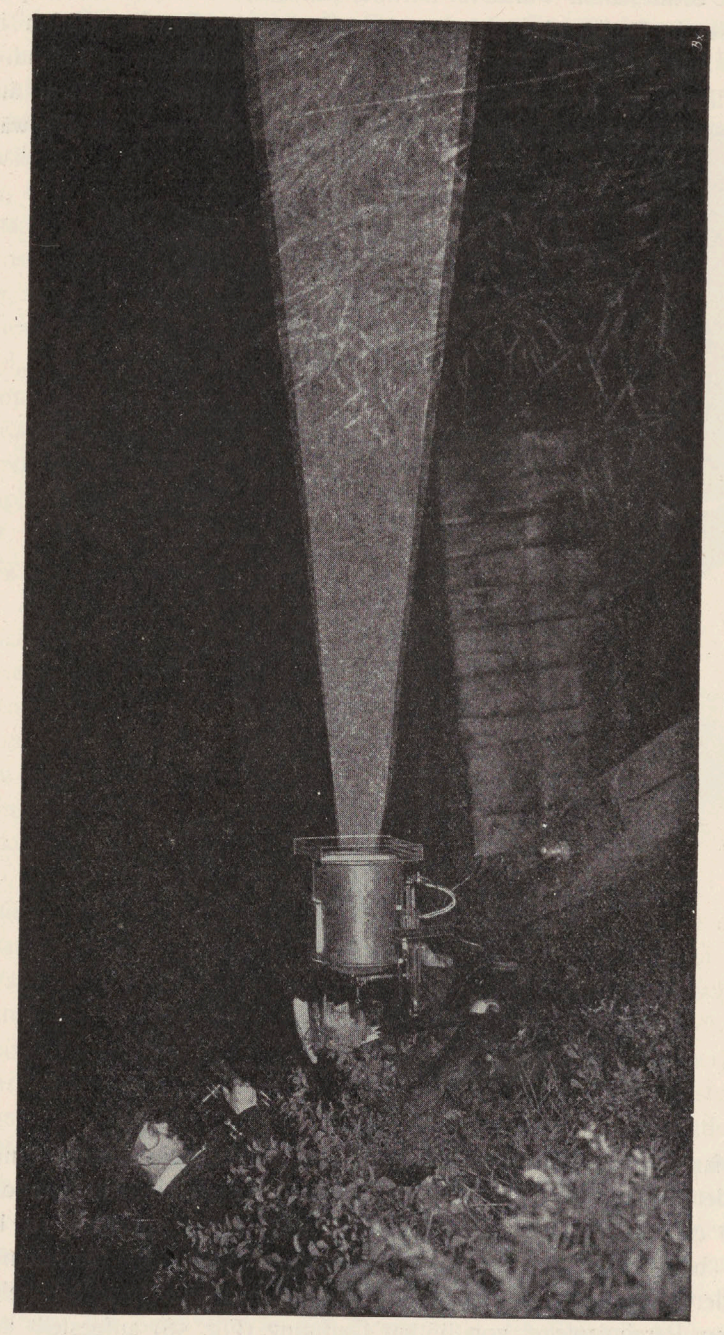


Fig. 46.

Die Sendestation wurde im Berliner Schuckert-Werk, in der Köpenicker Landstrasse in Berlin, eingerichtet, während sich die Empfangsstation in der etwa 2,5 km entfernten Gemeindeschule in Baumschulenweg befand. Als Sender diente auf dem Schuckertwerk ein Scheinwerfer mit einem äusserst genau geschliffenen Parabolspiegel von 60 cm Durchmesser (Fig. 47), während

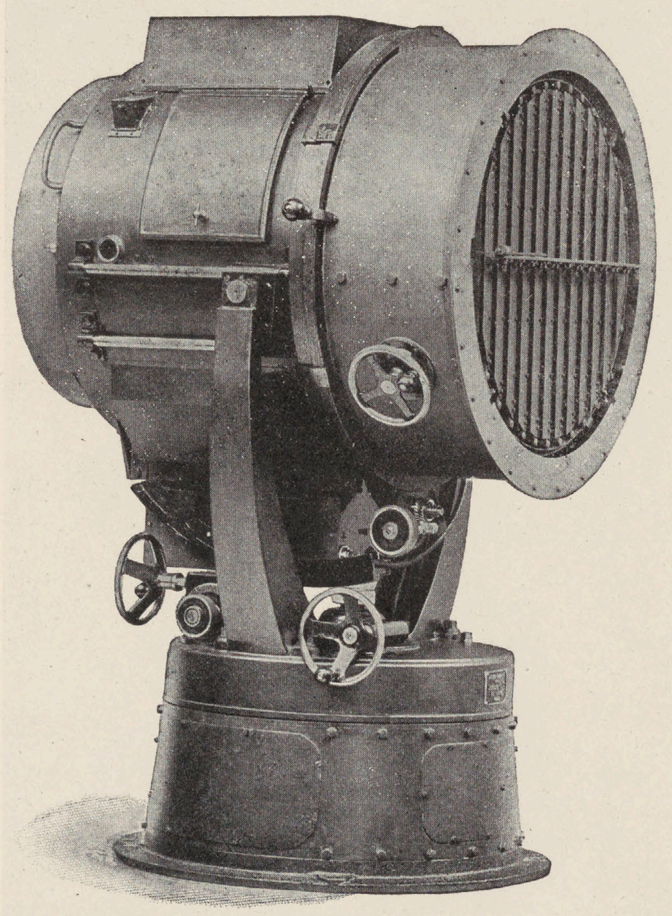


Fig. 47.

als Empfangsapparat der schon bei den Wannsee-Versuchen benutzte Empfänger verwendet wurde, der aber mit einem etwas grösseren Metall-Parabolspiegel von 60 cm versehen worden war. Um auch zurücksprechen zu können, wurden beide Stationen zu Doppelstationen ergänzt. In Baumschulenweg wurde der ebenfalls bei den Wannsee-Versuchen benutzte Torpedo-Scheinwerfer mit einem Parabolspiegel von 35 cm Oeffnung (Fig. 48) aufgestellt und von

einer Akkumulatorenbatterie gespeist, da elektrischer Anschluss nicht vorhanden war (Fig. 49). Im Schuckertwerk diente der in Fig. 50 dargestellte Demonstrationsapparat mit einem 45 cm grossen Metall-Parabolspiegel als Empfänger.

Die Verständigung war hier immer eine ausgezeichnete, insbesondere liess die Lautstärke der Wiedergabe, sowohl am Tage, als auch namentlich bei Regenwetter nichts zu wünschen übrig, was vielleicht hervorgehoben zu werden verdient, umsomehr, als die Versuchsstrecke sehr ungünstig war und die Sichtigkeit der Luft durch den Nebel, der von den zwischen den beiden Stationen gelegenen Wiesen aufstieg, durch den Rauch von den zahlreichen in der Umgegend liegenden Fabriken, sowie durch Dampf und Rauch der vielen in unmittelbarer Nähe verkehrenden Eisenbahnzüge häufig sehr getrübt wurde.

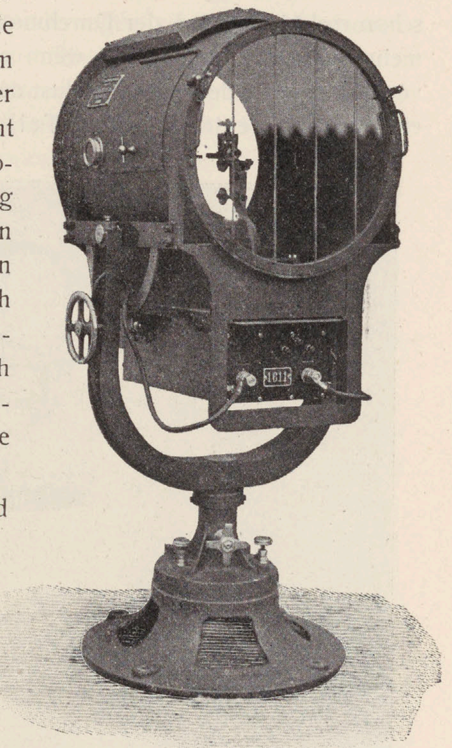


Fig. 48.

Auch das gleichzeitige Hin- und Zurücksprechen in den beiden zusammenfallenden Lichtbündeln der beiden Scheinwerfer ging ohne Störung von statten. Selbst mit einem kleinen Bühnenreflektor konnte eine Uebertragung auf dieser Strecke erzielt werden. Fig. 51 zeigt eine derartige Anordnung, wie sie sich auch für Demonstrationszwecke eignet. Später wurde die Station in Baumschulenweg durch einen 90 cm grossen Glas-Parabolspiegel als Empfangsspiegel ergänzt, in dem eine der früher beschriebenen flachen Zellen mit kreisförmiger lichtempfindlicher Fläche angebracht wurde. (Fig. 52). – Die auf dieser Strecke im Laufe mehrerer Monate gesammelten experimentellen Erfahrungen gestatteten eine bedeutende Ausdehnung der Versuchsstrecke. Als geeignetster Punkt für die Empfangsstation wurde ein ca. 15 km entfernter, auf den Falkenbergen hinter Grünau in der Mark gelegener Wasserturm ausgewählt, der von Herrn Gartendirektor Buntzel freundlichst zur Verfügung gestellt wurde. Da der Turm in der Richtung nach Berlin nur drei schmale Fenster hatte, so musste der 90 cm grosse Empfangsreflektor auf einigen seitwärts zum Turmfenster hinausgelegten Balken angebracht werden; ein Umstand, der die richtige Einstellung der Selenzelle in den Brennpunkt des Spiegels sehr erschwerte

(Fig. 53). Der zuerst benutzte Metallspiegel (Fig. 54) wurde später durch den Glasparabolspiegel aus Baumschulenweg ersetzt, da der letztere ein bedeutend besseres Reflektionsvermögen besass (Fig. 55).

Die Streuung des Scheinwerferlichtkegels auf derartige Entfernungen ist schon recht bedeutend, der Durchmesser des Lichtstrahlenbündels beträgt schon mehrere hundert Meter. Erst wenn man berücksichtigt, dass, ganz abgesehen von dem sehr bedeutenden Verlust des Lichtes, der in der Luft stattfindet, nur etwa der hunderttausendste Teil des Lichts vom Sender in den Empfangs-

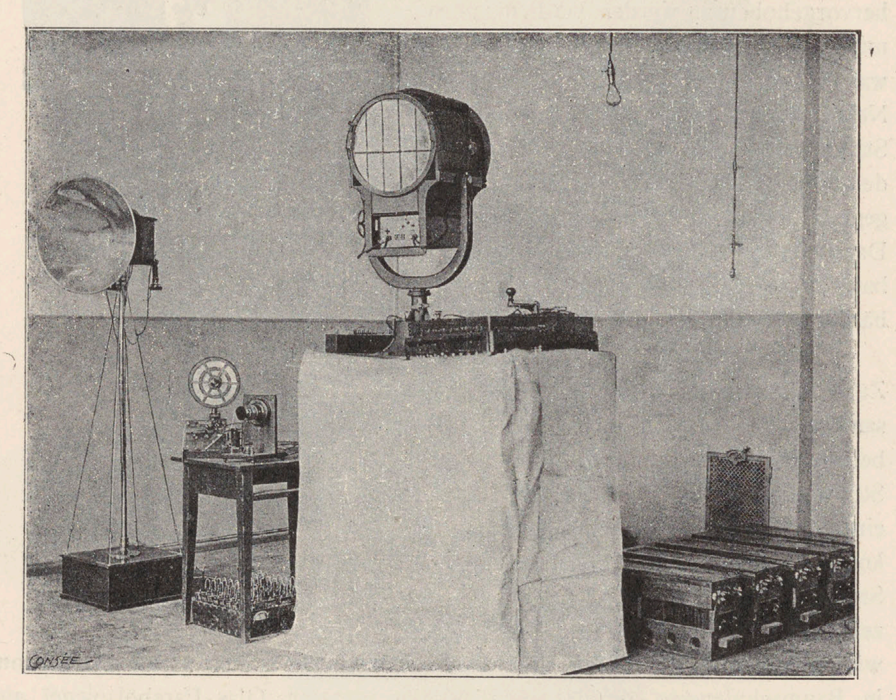


Fig. 49.

spiegel gelangt und auf die Selenzelle einwirkt, wird man sich einen Begriff von der Empfindlichkeit des elektrischen Selenauges machen können.

Die in Berlin ins Mikrophon gesprochenen Worte konnten auch hier noch deutlich verstanden werden. Bei Anwendung grösserer Empfangsspiegel liesse sich offenbar die Tragweite noch bedeutend steigern, wenn nicht die, bei derartigen Entfernungen schon recht beträchtliche Erdkrümmung eine gegenseitige Sichtbarkeit der beiden Stationen, die natürlich für die Lichttelephonie erforderlich ist, vereitelte.

Die oben beschriebenen Versuchsresultate des Verfassers zeigen deutlich, dass die Lichttelephonie tatsächlich eine praktische Bedeutung hat, zunächst

wohl in erster Reihe für die Marine, wo wie weitere im Frühjahr (25. – 28. Mai) 1903 vom Verfasser im Kieler Kriegshafen an Bord S. M. Schiffe „Neptun“ und „Nymphe“ angestellte Versuche ergeben haben, die vorhandenen Scheinwerfer ohne Aenderungen zu lichttelephonischen Zwecken mitbenutzt werden können.

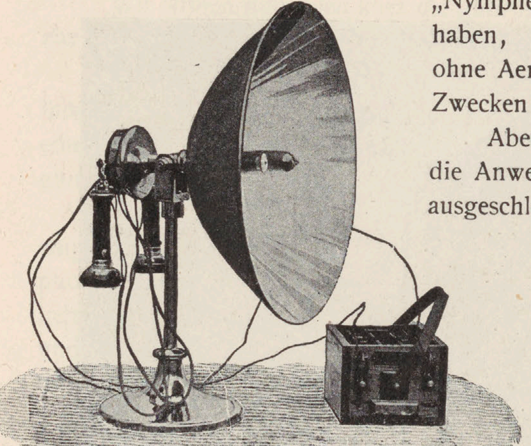


Fig. 50.

Aber auch beim Landheer erscheint die Anwendung der Lichttelephonie nicht ausgeschlossen und zeigen Fig. 56/57 derartige transportable Apparate für den Feldgebrauch. Der Scheinwerfer befindet sich auf einem Wagen. Zur Speisung desselben dient eine aus einem Benzin-, Petroleum- oder Spiritusmotor und Dynamo bestehende fahrbare Kraftstation. Der Empfangsapparat ist so einfach und leicht als möglich konstruiert, so dass er leicht transportiert werden kann.

Der Vollständigkeit wegen seien auch noch die Versuche des Verfassers im Jahre 1904 erwähnt. Die Sendestation befand sich zunächst auf dem elektrischen Schleppboot „Teltow“ (Fig. 58), mit welchem einige Versuche auf dem Griebnitzsee (bei Neu-Babelsberg) und der Havel angestellt wurden.

Später wurde eine andere Station mit freundlicher Erlaubnis des Geh. Reg.-Rats Prof. Dr. H. C. Vogel auf einem Gebäude des astrophysikalischen Observatoriums auf dem Brauhausberge bei Potsdam eingerichtet (Fig. 59). Als Sender diente ein in Aluminiumgehäuse eingebauter 60 cm Scheinwerfer auf Dreifuss. Der Empfänger befand sich zunächst auf dem Teltow-Boot (Fig. 58), später auf einem Turm des Kgl. Schlosses auf dem Pfingstberge bei Potsdam.



Fig. 51.

Es war beabsichtigt, die Versuche bis zum Wasserturm in Steglitz (20 km) bezw. bis zum Marienberg bei Brandenburg a. H. (37 km) fortzusetzen, jedoch

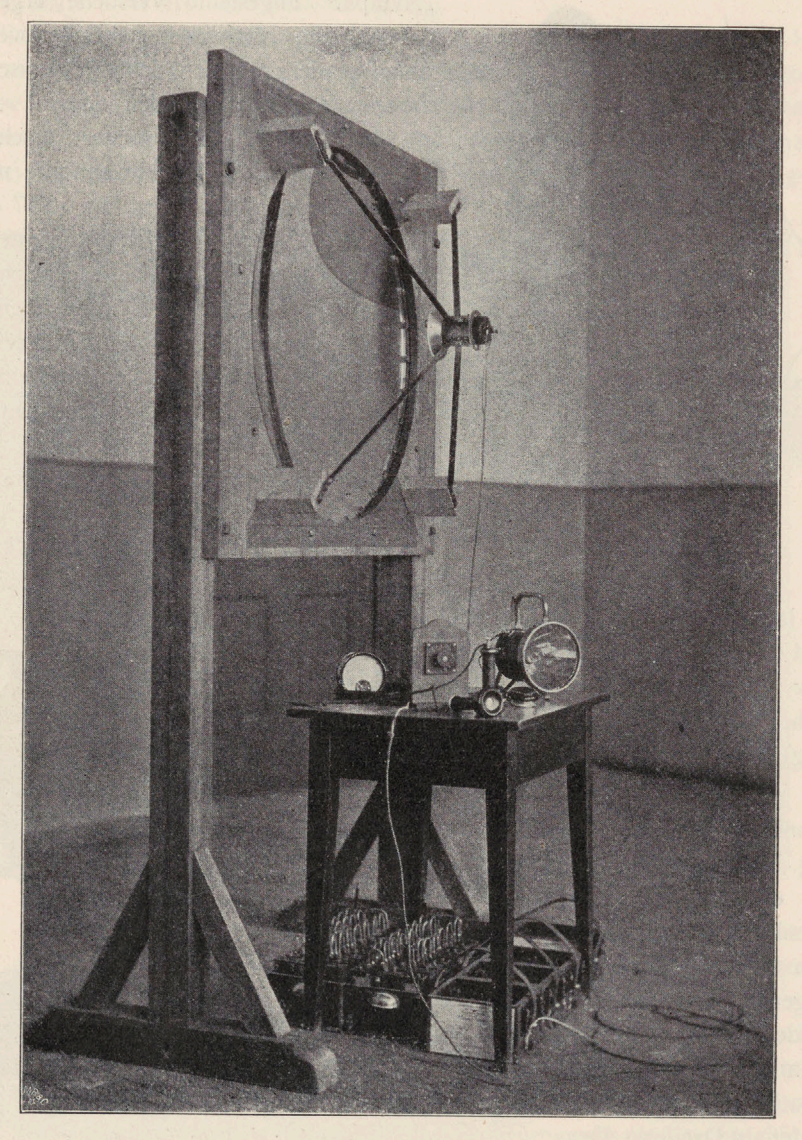


Fig. 52.

mussten dieselben vorzeitig abgebrochen werden, da der aufgestellte Scheinwerfer nach dem Kriegsschauplatz in Südwestafrika abgeschickt wurde, ein ähnlicher nicht vorhanden war, ein schwererer auf dem Turm nicht aufgestellt

werden konnte und ein kleinerer Scheinwerfer für die Ueberbrückung derartig grosser Entfernungen nicht leistungsfähig genug erschien.

Wir wollen nun noch kurz die günstigsten Versuchsbedingungen, die sich aus den zahlreichen Versuchen ergeben haben, anführen.

Beim Sender spielt zunächst die rationelle Ueberlagerung der möglichst intensiven Mikrophonstromschwankungen über den Speisestrom der Bogenlampe eine Hauptrolle. Hier sind zunächst die gleichen Gesichtspunkte wie zur Erzielung günstiger akustischer Wirkungen des Flammenbogens massgebend, das heisst die Anwendung eines empfindlichen Mikrophons, welches möglichst hohe Spannung und Stromstärke verträgt und die Anwendung einer richtig dimensionierten Induktionsspule. Im Gegensatz zur sprechenden Bogenlampe als Schallquelle, wo Volumenschwankungen des Flammenbogens in Betracht kommen, ist es aber zur Hervorbringung intensiver Lichtschwankungen, denn auf diese, nicht auf die absolute Intensität des zur Uebertragung entsandten Lichtes kommt es doch an, erforderlich, die Betriebsstromstärke möglichst klein zu wählen und dementsprechend mit verhältnismässig kurzen Lichtbogen zu arbeiten. Je geringer die konstante Betriebsstromstärke ist, um so mehr können sich die über ein gewisses Mass nicht steigerbaren Mikrophonstromschwankungen bei Aenderung der Stromstärke geltend machen, zumal die Aenderung der spezifischen Helligkeit des positiven Kraters der Bogenlampe, der, wie wir oben gesehen haben, fast ausschliesslich die Lichtausstrahlung hervorbringt, nur bei geringen Stromstärken beträchtlich, bei hohen Stromstärken immer kleiner und kleiner wird, und die spezifische Helligkeit schliesslich (bei ca. 100 Amp. und mehr) einem von der Stromstärke unabhängigen Wert zustrebt, so dass sich selbst die grössten Stromschwankungen nicht mehr in Lichtintensitätsschwankungen umsetzen können.

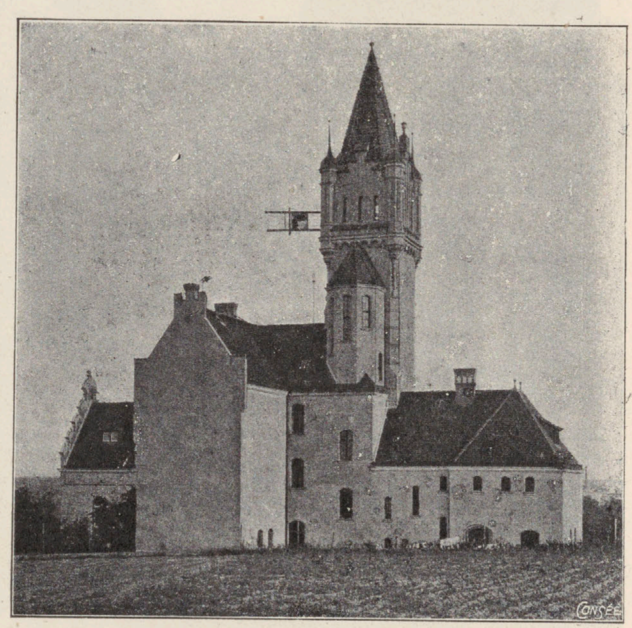


Fig. 53.

Es scheint also nur bei niedrigen Stromstärken mit zunehmender Stromstärke eine Steigerung der Kratertemperatur stattzufinden, bei höheren Stromstärken bleibt die Temperatur konstant und es tritt nur eine Kratervergrösserung ein.[1]) Die Anwendung eines positiven Kraters geringen Durchmessers bietet auch in bezug auf die Anordnung desselben im Brennpunkte eines Parabolspiegels, auf die Notwendigkeit einer genauen Einstellung braucht wohl nicht besonders hingewiesen zu werden, wesentliche Vorteile.

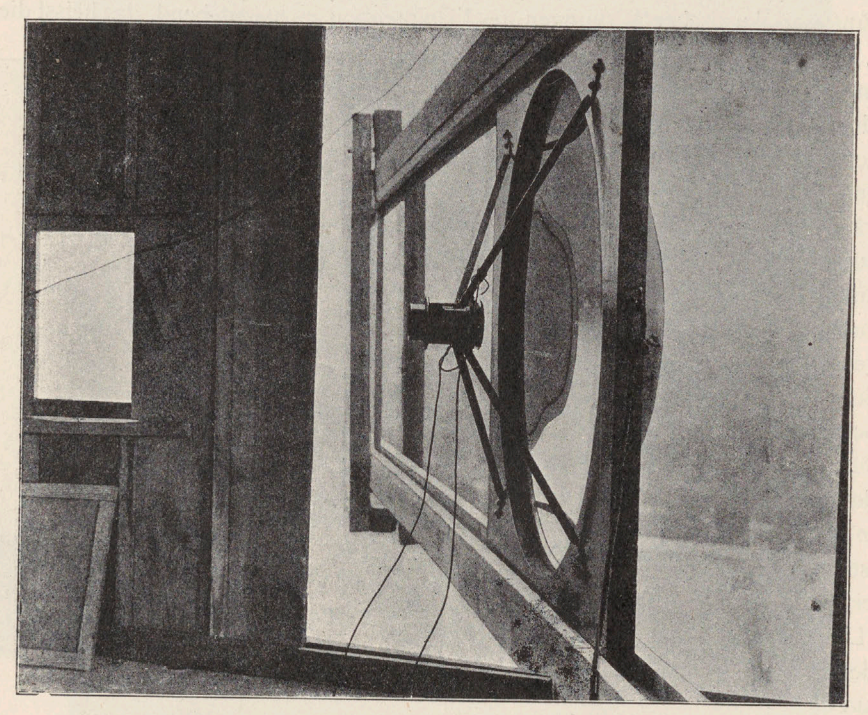


Fig. 54.

Je punktförmiger die verwendete Lichtquelle ist, um so geringer ist die Divergenz oder Streuung des mittels exakt parabolisch geschliffenen Spiegels entsendeten Lichtbündels, um so mehr Licht kann von dem verhältnismässig kleinen Empfangsspiegel aufgefangen und auf die Selenzelle konzentriert werden.

Wie die genauere Betrachtung der Optik des Parabolspiegels bei Benutzung räumlich ausgedehnter Lichtquellen ergibt, gibt es noch ein anderes Mittel, die Streuung zu vermindern, nämlich die Vergrösserung der Spiegelbrennweite. Mit dieser muss allerdings auch eine proportionale Vergrösserung des

[1]) F. Nerz. Scheinwerfer und Fernbeleuchtung. Stuttgart 1899. — O. Krell. Der gegenwärtige Stand der Scheinwerfertechnik. Vortrag. Schiffbautechnische Gesellschaft. 18. November 1904.

Vgl. hierzu auch: M. Reich. Ueber Grösse und Temperatur des negativen Lichtbogenkraters. Phys. Zeitschr. 7. S. 73. 1906, insbesondere Absatz 15 auf S. 85.

Spiegeldurchmessers Hand in Hand gehen, damit die Ausstrahlung der Lichtquelle in der gleichen Weise ausgenutzt wird.

Für lichttelephonische Versuche ist daher die Anwendung von Scheinwerfern mit exakt geschliffenen, gut reflektierenden Parabolspiegeln grosser Oeffnung und Brennweite, in deren Brennpunkt eine mit möglichst niederer Stromstärke gespeiste sprechende Bogenlampe angeordnet ist, geboten.

Die grossen Schuckert'schen Scheinwerfer mit den fast mathematisch genau parabolisch geschliffenen und auf der Rückseite versilberten Glasspiegeln eignen sich für diese Zwecke vorzüglich, immerhin ist auch bei diesen, selbst bei geringer Speisestromstärke der Bogenlampe, die Streuung bei grossen Entfernungen sehr beträchtlich, wie wir bei den Grünauer Versuchen gesehen haben. Als Betriebsstromstärke erwies sich 2 – 3 Amp., für weitere Entfernungen 4 bis höchstens 10 Amp. als günstig.

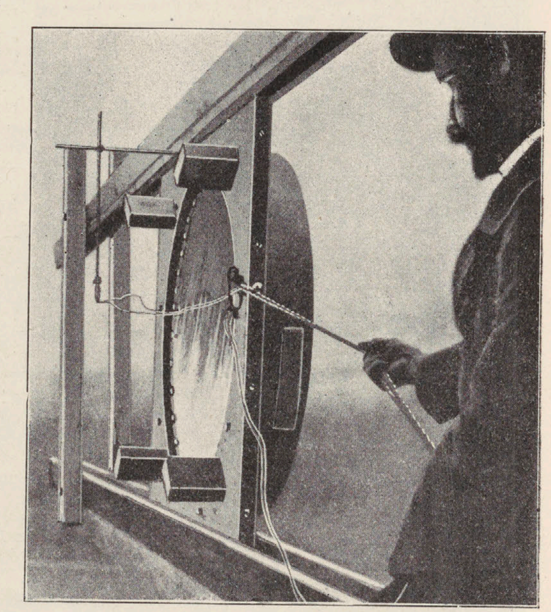


Fig. 55.

Bei weiterer Steigerung nimmt die Lautstärke der Uebertragung beträchtlich ab [1]).

Als Elektroden sind bei geringen Stromstärken Kohlenstäbe von 5 (positiv) bezw. 4 mm (negativ) ausreichend, bei höheren Stromstärken solche von 8 bezw. 6 mm. Auch der Einfluss des Elektrodenmaterials kommt in Betracht, da die Kratertemperatur schnelle Schwankungen ausführen soll und eine grosse Wärmekapazität des Materials der Anode diese hindern würde. Aber das beständige Wandern des positiven Fusspunktes des Bogens macht sich bei Anwendung einer homogenen Kohle als Anode und in einem noch höheren Grade bei einer Metallanode, die vorteilhaft gekühlt wird, so störend geltend, dass für praktische Zwecke doch eine positive Dochtkohle, die den Ausgangspunkt des Bogens fixiert, vorzuziehen ist. Was den Einfluss der Lichtbogenlänge anbetrifft, so hat sich herausgestellt, dass sich um so günstigere Resultate erzielen lassen,

[1]) Dies ist eine der Ursachen, weshalb die auf der Weltausstellung in St. Louis (1904) vorgeführten lichttelephonischen Apparate mangelhaft funktionierten. Die Betriebsstromstärke des Senders betrug dort etwa 20 Amp. Die Empfangsstation zeigt Fig. 60.

je länger und labiler der Bogen ist (ca. 4 – 7 mm bei 60 – 90 Volt Spannung am Lichtbogen). Geradezu überraschend ist die Lautstärke der Uebertragung kurz vor dem Abreissen des Bogens, wenn derselbe fast nur noch von einem Punkt der positiven Elektrode ausgeht. – Eine Erhöhung der Lichtbogenspannung, deren Einfluss gelegentlich der oben angeführten Teltowboot-Versuche untersucht wurde, bietet keinerlei Vorteile gegenüber der normalen Lichtbogenspannung von 60 – 90 Volt bei 110 Volt Betriebsspannung.

Weitere Faktoren kommen zunächst bei dem Sender nicht in Betracht, erst die

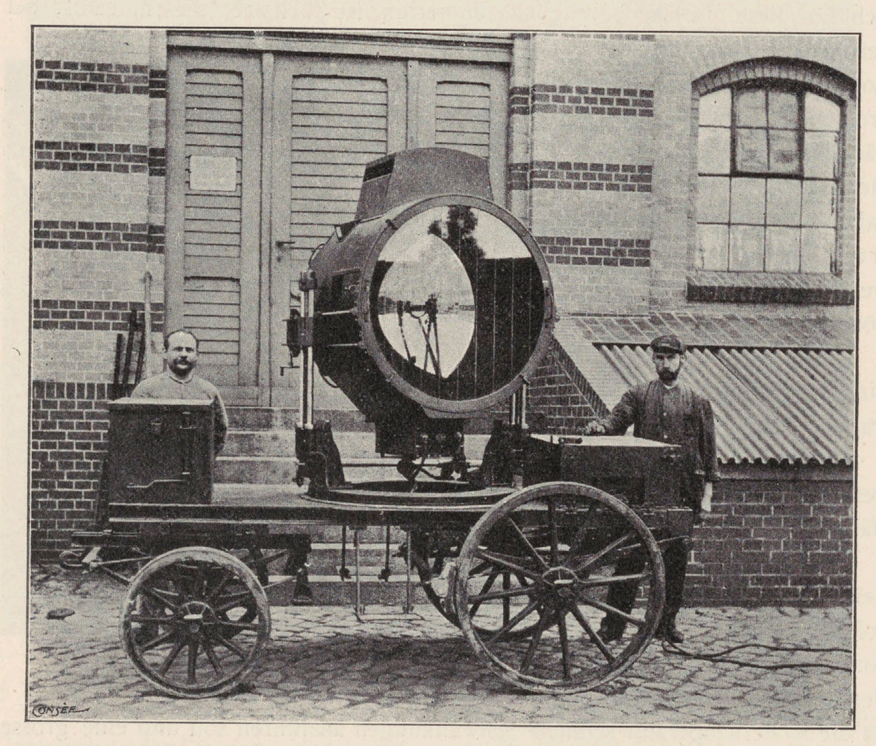


Fig. 56.

Entdeckung einer neuen Lichtquelle mit höherer spezifischer Flächenhelligkeit würde einen neuen Fortschritt bringen können.

Wir kommen nun zu einem weiteren wichtigen Punkt, nämlich auf die genaue Richtung des Scheinwerferbündels nach dem Empfangsapparat. Diese Einstellung bietet oft Schwierigkeiten, besonders von einem bewegten Standpunkte, wie einem Schiffe aus. In diesem Falle empfiehlt sich, eine kardanische Aufhängung des Scheinwerfers anzuwenden. Am Abend und des Nachts sieht der Richtende das Lichtbündel und bei nicht allzu grosser Entfernung auch den

beleuchteten Empfangsspiegel. Bei grösseren Entfernungen aber, etwa von 3 Kilometer an, ist der beleuchtete Gegenstand nicht mehr zu erkennen, und bei Tage ist jede Orientierung über die Richtung des Lichtbündels ausgeschlossen, weil es dann überhaupt unsichtbar ist. Der Scheinwerfer muss daher mit einem Fadenkreuzfernrohr verbunden werden, so dass die optischen Axen beider Instrumente parallel gerichtet sind.

Es sei an dieser Stelle, um einem weit verbreitetem Irrtum zu begegnen, ausdrücklich hervorgehoben, dass die Versuche am Tage, sogar bei Sonnenschein eben so gut gelingen, als bei Nacht. Ja man kann sogar die Selenzelle im Empfänger durch eine kräftige konstante Lichtquelle beleuchten, ohne dass die Lautstärke wesentlich nachlässt. Allerdings darf man die Sonne nicht direkt in den Sammelspiegel der Empfangsstation hineinscheinen lassen, weil dann das Selen schmelzen und die Zelle dadurch unbrauchbar werden würde. Es genügt aber schon für den Fall, dass der Spiegel nach der Sonne hin gerichtet werden müsste, die direkten Sonnenstrahlen durch einen Schirm vom Spiegel abzuhalten.

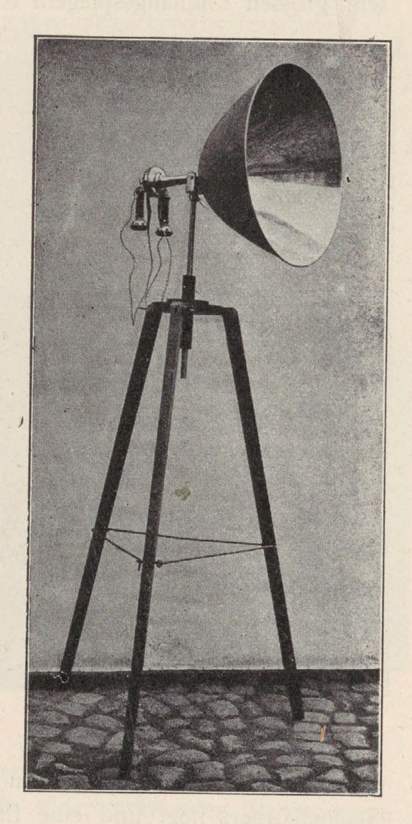


Fig. 57.

Von ausserordentlich grossem Einfluss auf die Deutlichkeit der Uebertragung bezw. die Reichweite bei der Lichttelephonie ist die Sichtigkeit der Luft. Bedenkt man, dass die Absorption in der Atmosphäre zwischen 2 und 50 % pro 1 km, ja noch weit darüber betragen kann, so wird man sich über die Wichtigkeit dieses Faktors ein Bild machen können. Bei starkem Nebel ist natürlich ein Lichttelephonieren über grössere Entfernungen ganz ausgeschlossen.

Betrachten wir endlich die massgebenden Faktoren an der Empfangsstation. Je grösser der Reflektor daselbst ist, um so mehr Licht wird auf die Selenzelle konzentriert, um so grössere Helligkeitsschwankungen und damit Stromschwankungen werden erzielt. Auf eine absolute Genauigkeit des Parabolspiegels kommt es nicht an, da ja das Licht nicht auf einen Punkt, sondern auf die verhältnismässig grosse lichtempfindliche Fläche der Zelle zusammengezogen werden soll. Dagegen muss der Spiegel aus einem Material mit hohem

Reflektionsvermögen hergestellt sein; an Stelle der sehr teuren Schuckert'schen Glasparabolspiegel eignen sich für diese Zwecke sehr gut gedrückte, geschliffene oder auf elektrolytischem Wege hergestellte Metallspiegel, am besten haben sich Neusilberspiegel bewährt, die sich verhältnismässig leicht und wohlfeil in grossen Dimensionen anfertigen lassen.

Je nach der Anwendung zylindrischer oder flacher Selenzellen muss man Spiegel mit verhältnismässig kurzer bezw. langer Brennweite anwenden. Bei sehr grossen Empfangsspiegeln ist letztere Form vorzuziehen, d. h. ein ver-

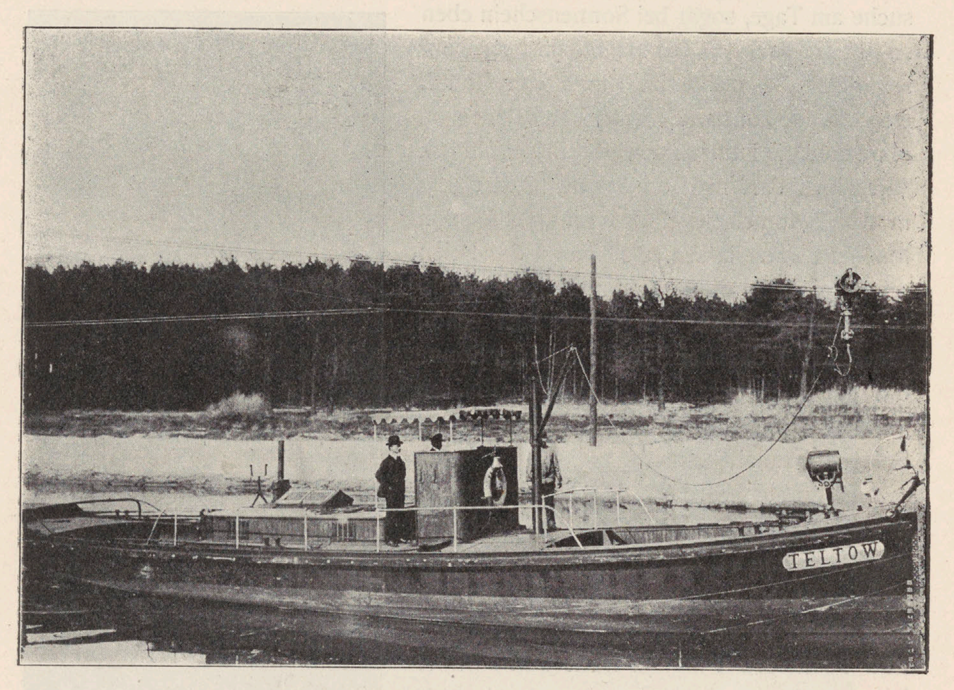


Fig. 58.

hältnismässig flacher Spiegel zu wählen, dessen Brennpunkt ausserhalb des Spiegelkörpers liegt und eine flache Zelle zu benutzen. Bei ganz grossen Stationen würde man in diesem Falle auch mehrere Spiegel an Stelle eines einzigen grossen zum Auffangen des Lichtbündels benutzen können. Verfasser beabsichtigte in dieser Art aus sieben Spiegeln von je 2 m Durchmesser, von denen sechs den siebenten umgeben sollten, eine Empfangsanordnung für weite Entfernung (ca. 100 km) zu bauen, doch wurde dieser Plan nicht verwirklicht.

Den grössten Einfluss beim Empfänger übt natürlich die verwendete Selenzelle aus. Die für die Wahl der Form derselben (flach oder zylindrisch) ausschlaggebenden Gesichtspunkte haben wir schon oben erörtert.

Um eine möglichst grosse Lichtverstärkung, die offenbar vom Verhältnis der Spiegeloberfläche zur lichtempfindlichen Fläche abhängt, zu erzielen, möchte die Zelle möglichst klein sein. Aber die sich hieraus ergebenden elektrischen Eigenschaften setzen diesem Wunsche eine Grenze. Die kleinen Zellen bieten dem elektrischen Strom ein so grosses Hindernis, dass eine Betriebsbatterie von vielen hundert Volt erforderlich sein würde, um die zur Betätigung eines Telephons erforderliche Stromstärke durch die Zelle zu schicken. Die Anwendung solch

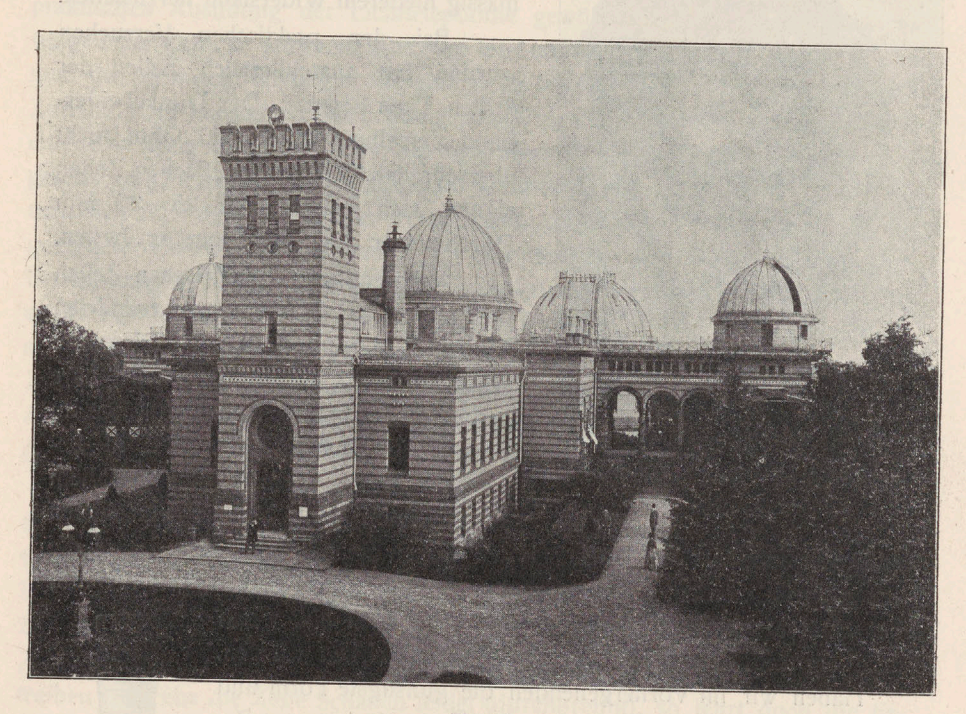


Fig. 59.

hoher Spannungen zur Speisung einer Selenzelle ist aber sehr unpraktisch. Man verwendet daher Zellen, die beiden sich widersprechenden Bedingungen möglichst nahe kommen, d. h. verhältnismässig kleine lichtempfindliche Fläche und dabei doch verhältnismässig niederen Dunkelwiderstand besitzen.

Die Zelle muss in ihrer ganzen Ausdehnung vom Licht und zwar möglichst senkrecht getroffen werden. Es ist ein grosser Fehler, der leider allzu häufig begangen wird, bei derartigen Versuchen die lichtempfindliche Fläche nur teilweise vom undulierenden Licht beleuchten zu lassen. Der unbeleuchtete Teil bildet dann einen „toten" Nebenschluss zum beleuchteten und wirksamen Teil der Zelle, so dass die Stromschwankungen beträchtlich vermindert werden.

Während Verfasser bei den ersten Versuchen noch zylindrische Zellen von 50 mm Länge bei 18 mm Zylinderdurchmesser anwendete, ging derselbe später zu solchen von 25 mm und endlich von 12,5 mm Länge über. Für manche Versuche zeigten sich auch Zellen gleicher Länge von nur 9 mm Zylinderdurchmesser als sehr geeignet, nachdem es gelungen war, solche mit verhältnismässig niederem Widerstand herzustellen.

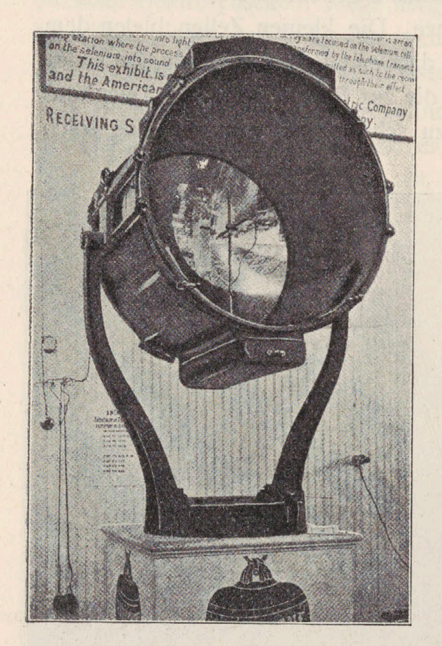
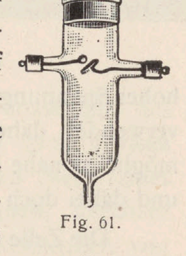


Fig. 60.

Bei den praktischen Versuchen wurden fast ausschliesslich Zellen der dritten Type benutzt. Der Dunkelwiderstand derselben soll 25000 Ohm nicht überschreiten. Unter den flachen Zellen eignen sich solche von 25 – 30 mm Durchmesser der Selenfläche am besten.

Während die zylindrischen Zellen infolge des vom Verfasser angewendeten Einbaues in eine evakuierte Glasröhre schon vor den Einflüssen der Atmosphäre geschützt sind, müssen bei Versuchen im Freien die flachen Zellen erst in besonderer Weise z. B. in einer luftdicht schliessenden, mit Fenster versehenen Metallkapsel montiert werden. Bei den hohen Spannungen, mit denen die Zellen gespeist werden, treten sonst bei der geringsten Feuchtigkeit der Luft Nebenschlüsse und auch elektrolytische Wirkungen ein, welch letztere ein schnelles Zerstören der Zelle bewirken würden.


Fig. 61.

Haben wir im Vorhergehenden die günstigste Form und Grösse der Zelle kennen gelernt, so kommen wir jetzt zur Besprechung der erforderlichen Eigenschaften. Nicht allein auf die möglichst grosse Empfindlichkeit Lichtschwankungen gegenüber überhaupt kommt es an, sondern vornehmlich auf die Fähigkeit, den Widerstand s c h n e l l zu ändern; die für Lichttelephonie zu verwendenden Zellen müssen also geringe Trägheit haben. Diese Eigenschaften lassen sich in gewissem Grade durch geeignete Konstruktion und Präparation der Zelle erzielen; z. B. muss die lichtempfindliche Schicht möglichst dünn sein, damit alles an der Elektrizitätsleitung beteiligte Selenmaterial auch vom Licht beeinflusst werden kann. Nimmt man dicke Selenschichten, so vermindert nur die oberste Schicht ihre Leitfähigkeit unter dem Einfluss des Lichtes, da kristallinisches Selen auch in den

dünnsten Schichten vollkommen lichtundurchlässig ist. Auch auf welchem Punkte der Widerstand und Beleuchtung verbindenden Abhängigkeitskurve, (sogenannte „Charakteristik") sich die Zelle jeweils befindet, oder mit anderen Worten, die Intensität der konstanten Beleuchtung kommt für die Grösse der durch eine bestimmte Beleuchtungsschwankung hervorgerufenen Stromschwankung in Betracht, doch ist dieser Einfluss, wie oben bereits hervorgehoben wurde, von untergeordneter Bedeutung, weil einerseits die bei der praktischen Ausübung der Lichttelephonie gewöhnlich auftretenden Beleuchtungen der Zelle zu schwache sind, um eine ungünstige Wirkung hervorzurufen und die Stromschwankungen wesentlich zu vermindern, andererseits aber mit Zunahme der konstanten Beleuchtung eine Widerstandsverminderung und damit eine Erhöhung der Stromschwankungen eintritt, sodass sich beide entgegengesetzt gerichteten Wirkungen ungefähr kompensieren. Unter Umständen kann man sich auch den obwaltenden Verhältnissen durch Anwendung einer Zelle mit geeigneter Charakteristik anpassen. Es gibt nämlich ausser den, den bisherigen Betrachtungen zu Grunde gelegten sogenannten „weichen" Zellen, die bei schwacher Beleuchtung empfindlicher sind als bei greller, auch Zellen, die bei starker Beleuchtung empfindlicher sind als bei schwacher, sogenannte „harte" Zellen. Im allgemeinen wird sich aber die Benutzung von Zellen der ersten Art empfehlen, da dieselben im allgemeinen empfindlicher sind als die harten.

Auf den ersten Blick sollte man glauben, dass sich durch Erhöhung der Speisestromstärke der Selenzelle, d. h. durch Erhöhung der Betriebsspannung, die Grösse der erzielbaren Stromschwankungen beliebig steigern lassen müsse, wenigstens so lange als die Selenzelle der angewendeten Strombelastung standhalten kann. Obwohl sich die Belastung sorgfältig konstruierter Zellen mit möglichst gleichmässigem Abstand der Elektroden ziemlich weit treiben lässt, ehe die Zelle Schaden leidet (durchbrennt), so lehrt doch die Erfahrung, dass es für jede Zelle bei einer bestimmten Beleuchtung eine günstigste Betriebsstromstärke gibt, die die grössten Stromschwankungen zu erzielen gestattet. Erhöht man die Stromstärke durch Steigerung der Betriebsspannung, so nimmt die Wirkung ab. Dieses experimentell festgestellte Verhalten ist theoretisch noch wenig geklärt, wahrscheinlich ist dasselbe aber auf eine Wirkung der Joule'schen Wärme zurückzuführen, da eine starke Erwärmung der lichtempfindlichen Schicht das Reaktionsvermögen der Zelle wesentlich herabsetzt. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich auch bei lichttelephonischen Versuchen über kurze Entfernungen (für Vorlesungsdemonstrationen usw.) die vom Sender ausgehenden Wärmestrahlen in geeigneter Weise abzufiltrieren. Bei grösseren Entfernungen (1000 m und mehr) ist die Absorption in der atmosphärischen Luft so gross, dass besondere Einrichtungen hierfür überflüssig sind.

Endlich sei noch auf einen Punkt eingegangen, der zur Erzielung guter Wirkungen von wesentlichem Einfluss ist.

Wir wissen, dass das von dem positiven Krater ausgehende Licht unduliert. Welche Wellenlängen des weissen Lichtes sind es, die hierbei am meisten in Betracht kommen? Verfasser hat zahlreiche Versuche in dieser Richtung angestellt und gefunden, dass merkwürdigerweise die langen und die kurzen Wellenlängen, oder mit anderen Worten die ultraroten und roten und die violetten und ultravioletten Strahlen den grössten Beitrag liefern. Es ist daher vorteilhaft, Selenzellen zu verwenden, die auf die entsprechenden Wellenlängen besonders ausgeprägt reagieren. Dies ist, wie Verfasser gezeigt hat, durch Anwendung geeigneter Zusätze bezw. Sensibilisatoren möglich, ohne diese liegt die Hauptempfindlichkeit des Selens im gelben Teil des Spektrums. Man hat es hierbei mit einem bei photographischen Platten schon längst angewandten Kunstgriff zu tun.

Die praktischen Versuche haben nun ergeben, dass es bei grösseren Entfernungen, wegen der überaus starken Absorption der Strahlen kurzer Wellenlänge in der Atmosphäre keinen Vorteil mehr bringt, die Selenzellen für die kurzen Wellenlängen besonders empfindlich zu machen; da solche nur in bedeutend geschwächter Intensität auf die Selenzelle gelangen[1]); um so wichtiger ist aber ihre Empfindlichkeit für lange Wellenlängen, einerseits weil die vom Sender ausgehenden roten Strahlen am meisten undulieren, andererseits die Absorption derselben in der Atmosphäre von allen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums am geringsten ist. Auf letzteren Umstand ist auch die Erscheinung zurückzuführen, dass das Licht eines Scheinwerfers in grösserer Entfernung auffallend rötlich erscheint.

Man könnte der Meinung sein, dass sich die Verhältnisse in dieser Beziehung durch Anwendung entsprechender Effektkohlen (für rotes Licht) im Scheinwerfer noch günstiger gestalten liessen. Dies ist aber nicht der Fall, da die betreffenden Zusätze zum Kohlenmaterial nur zu einer Färbung des Lichtbogens, nicht aber zu einer wesentlichen Aenderung der spektralen Zusammensetzung des von dem positiven Krater ausgehenden Lichtes beitragen, und bei einem Scheinwerfer ausschliesslich das letztere ausgenutzt wird, während die Lichtwirkung des Bogens selbst gar nicht in Betracht kommt. Dagegen ist es bei Anwendung rotempfindlicher Zellen ziemlich gleichgiltig, ob man das vom Scheinwerfer ausgehende Licht direkt oder durch ein rotes Farbenfilter geleitet zur Uebertragung benutzt.

Die farbenempfindlichen Selenzellen bieten auch die Möglichkeit, auf einem Lichtbündel gleichzeitig mehrere Gespräche zu übertragen. Stellt man

---

[1]) Vgl. hierzu auch: J. S. Dow. Electrical Review. London 59. S. 729. 1906.
Auch die Absorption in der zweimal vom Licht zurückgelegten Glasdicke des Sendespiegels, sowie in dem Glaszylinder der Selenzelle spielt hierbei eine gewisse Rolle.

nämlich auf der Sendestation mehrere Scheinwerfer dicht nebeneinander, vor denen verschiedenfarbige Lichtfilter angeordnet sind, so mischen sich die verschieden gefärbten Lichtbündel in der Luft zu einem gemeinsamen; bei geeigneter Wahl der Filter ist es bekanntlich sogar möglich, durch diese Mischung weisses Licht zu erzeugen, so dass man dann auf der Empfangsstation von einem Scheinwerfer ausgehendes Licht zu empfangen glaubt.

Beeinflusst man nun jeden Scheinwerfer getrennt vom anderen, (im Falle einer gemeinsamen Speisestromquelle hat man dafür Sorge zu tragen, dass sich die Beeinflussungen eines Lichtbogens nicht auf die anderen übertragen), so kann man die gleichzeitig übertragenen Gespräche usw. auf der Empfangsstation wieder trennen, indem man eine entsprechende Anzahl Empfänger anwendet, von denen ein jeder eine ausschliesslich für die Wellenlänge des zugehörigen Senders empfindliche Zelle enthält, während man mit einer gewöhnlichen Zelle alle Gespräche durcheinander hören würde.

Eine andere Anwendung finden die farbenempfindlichen Zellen bei einer vom Verfasser ersonnenen Methode, um ein Abhören der übermittelten Gespräche durch Unberufene zu verhindern. An dieser Stelle sei bemerkt, dass natürlich ein derartiges Abfangen bei der Lichttelephonie nur mittels eines in das Scheinwerferbündel selbst gebrachten Empfangsapparates möglich wäre.

Die Methode zur Sicherung der Geheimhaltung beruht auf folgendem Prinzip. Da die Uebertragung der Sprache nur durch Lichtänderungen erfolgt, so ist es für dieselbe offenbar gleichgiltig, ob man mit positiven Aenderungen (Lichtvermehrung) oder mit negativen Aenderungen (Lichtverminderung) arbeitet, ähnlich wie es bei der Reproduktion photographophonischer Aufnahmen ohne Einfluss ist, ob man das Filmnegativ selbst oder eine davon gefertigte Kopie (Positiv) benutzt. Je nach der Stromrichtung der überlagerten Mikrophonströme in bezug auf den Speisestrom der Lampe ergibt sich die eine oder die andere Art der Aenderung.

Wendet man nun als Sender zwei vom gleichen Mikrophon beeinflusste Scheinwerfer, von denen der eine mit positiven, der andere mit negativen Aenderungen arbeitet an und leitet beide Strahlenbündel in ein gemeinsames, welches man auf die Empfangsstation richtet, so ist es klar, dass sich in diesem Bündel die gleichstarken positiven und negativen Schwankungen aufheben, so dass der beleuchtete Empfänger nicht reagiert. Ordnet man aber vor beiden Scheinwerfern komplementärfarbige Lichtfilter an, so mischen sich zwar beide Bündel wieder zu einem gemeinsamen weissen, so dass eine normale Selenzelle nicht ansprechen kann, (eine Differenz ihrer Empfindlichkeit für die beiden Wellenlängen lässt sich durch passende Wahl der letzteren ausschalten), aber bei Anwendung einer oder zweier den Filtern des Senders entsprechend monochromatisch empfindlicher Zellen lassen sich die Aenderungen sofort wahr-

nehmen. Man kann sogar bei Anwendung zweier Empfänger die Wirkungen beider in gleichem Sinne auf ein gemeinsames Telephon übertragen. Nur der Berufene, der die angewendeten Wellenlängen genau kennt, kann demnach das Gespräch in unverminderter Lautstärke hören, während der Unberufene trotz Beleuchtung seiner Selenzelle vom Sender gar nichts wahrnimmt.

Zum Schluss noch einige Worte über die praktische Bedeutung der Lichttelephonie. In erster Reihe kommt ihre Anwendung wohl für die Marine in Betracht, zur Verständigung der im Hafen liegenden oder der manövrierenden Kriegsschiffe untereinander.

Da die vorhandenen Scheinwerfer ohne Schwierigkeiten für diese Zwecke mit benutzt werden können, so sind die Anschaffungskosten für die Apparate sehr gering.

Auch zum Verkehr zwischen Schiff und Leuchtturm ist die Lichttelephonie sehr geeignet.

Aber auch beim Landheer, einerseits für die Verständigung der Vorposten und Patrouillen mit dem Hauptquartier, andererseits zum Verkehr zwischen belagerten Festungen und Ersatzheeren erscheint ihre Anwendung nicht ausgeschlossen.

Die Lichttelephonie besitzt zunächst alle Vor- und Nachteile, die jeder gerichteten Nachrichtenübermittelung eigentümlich sind.

Als Vorteil ist anzuführen, dass kein Gespräch oder Befehl von Unberufenen abgefangen werden kann, nur derjenige kann etwas hören, dessen Apparat vom Strahlenbündel des Scheinwerfers getroffen wird. Wir haben ausserdem oben eine besondere Methode kennen gelernt, die die Geheimhaltung in noch weitgehenderer Weise gewährleistet.

Die Undulationen des Scheinwerferstrahles selbst sind, wie wir bereits hervorgehoben haben, unserem trägen Auge wegen der hohen Frequenz der Sprachschwingungen unsichtbar und können also überhaupt nicht abgelesen werden.

Als Nachteil käme in Frage, dass die Reichweite infolge der gradlinigen Fortpflanzung des Strahlenbündels und der Erdkrümmung eine beschränkte ist, in Wirklichkeit dürfte dieser Umstand aber keine besondere Rolle spielen, da die drahtlose Telephonie grade für nahe Entfernungen, wo eine einfache und leistungsfähige, wenig zeitraubende Verständigungsmethode erwünscht ist, in Betracht kommt, während man für grössere Entfernungen ebenso wie bei der Nachrichtenübermittelung mit Draht im Allgemeinen die Telegraphie an Stelle der Telephonie wird treten lassen.

Im Speziellen sind ferner jene Licht- und Schattenseiten anzuführen, welche mit der Benutzung des Lichtes als Träger der Sprache zusammenhängen. Einerseits erleichtert die Benutzung sichtbarer Strahlen eine genaue Einstellung von Sender und Empfänger, andererseits ist aber die Sichtbarkeit des zur Ueber-

tragung dienenden Scheinwerferbündels bei Nacht für gewisse Anwendungen nachteilig, z. B. für den Kriegsfall, da hierdurch die Lage der Sende- und Empfangsstation ohne weiteres festgestellt werden kann.

Einen weiteren Uebelstand, der sich besonders bei der Ueberbrückung grösserer Entfernungen geltend macht, bildet die starke Absorption der verhältnismässig kurzwelligen, sichtbaren Strahlen in der Atmosphäre, besonders bei Nebel.

Die beiden zuletzt angeführten Nachteile würden sich aber vermeiden bezw. bedeutend mildern lassen, wenn man zur Uebertragung ausschliesslich dunkle Strahlen, die eine grössere Wellenlänge besitzen, anwenden würde. Derartige Versuche unter Benutzung ultraroter Strahlen erscheinen sehr aussichtsreich. Als Empfänger könnte sowohl eine Selenzelle als auch ein Bolometer oder eine Thermosäule dienen. Verfasser hat bereits einige Versuche in dieser Richtung über kürzere Entfernungen unternommen, welche auf einer von ihm zufällig beobachteten, schon längst bekannten Eigenschaft dünner Hartgummiplatten beruhen, die sichtbaren Strahlen zu absorbieren, aber die unsichtbaren ultraroten Strahlen in ziemlich ungeschwächter Intensität durchzulassen.[1])

Schaltet man ein derartiges Filter beim Sender ein, so bleibt die Uebertragung bestehen, obwohl das Sender und Empfänger verbindende Strahlenbündel unsichtbar ist. (Vorführung auf der Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten des Elektrotechnischen Vereins in Berlin am 19. März 1902).[2]) Eine Anwendung dieses ins Gebiet der Thermophonie fallenden Experiments auf grössere Entfernungen hat nicht stattgefunden.

Fassen wir alles Gesagte kurz zusammen, so besitzen wir in der elektrischen Lichttelephonie ein bequemes, geheimes und sicheres Verständigungsmittel für kürzere Entfernungen bis zu etwa 6 – 8 Kilometer; nur starker Nebel und Rauch können die Verständigung auf diese Entfernungen beeinträchtigen.

Im Anschluss an die Telephonie mittels Licht- und Wärmestrahlen sei der Vollständigkeit wegen noch kurz eines von Sella (1898) vorgeschlagenen Systems gedacht, bei dem die ultravioletten Strahlen zur Uebertragung der Sprache benutzt werden. Dieses Sella'sche System der drahtlosen Telephonie schliesst sich eng an die Zickler'sche lichtelektrische Telegraphie an[3]) und beruht wie diese auf der schon von Heinrich Hertz (1887) [4]) gemachten Beobachtung, dass das Entladungspotential zwischen zwei Elektroden unter den normalen Wert

[1]) Vgl. hierzu z. B. Vortrag von Perry. Ueber die zukünftige Entwicklung der Elektrotechnik. Society of Arts, London 24. März 1880.

[2]) Vgl. E. T. Z. 23. S. 643. 1902 und Mechaniker 10. S. 66. 1902.

[3]) K. Zickler. E. T. Z. 19. S. 474, 487 u. 826. 1898.

[4]) H. Hertz. Wied. Ann. 31. S. 983. 1887.

sinkt, wenn ultraviolette Strahlen auf die negative Elektrode fallen.[1]) Entfernt man z. B. die kugelförmigen Elektroden eines Induktoriums so weit von einander, bis die induzierte Potentialdifferenz nicht mehr hinreicht, um noch eine Funkenentladung zu erzeugen, so setzen die Funken sofort wieder ein, wenn man auf die negative Elektrode z. B. das an ultravioletten Strahlen reiche Licht einer elektrischen Bogenlampe fallen lässt. Dieses Hertz'sche Phänomen wird noch begünstigt, wenn man die Entladung in verdünnten Gasen übergehen lässt. Die Wandungen des die Funkenstrecke einschliessenden Gefässes müssen dann natürlich aus einem für ultraviolette Strahlen durchlässigem Material bestehen. Gewöhnliches Glas ist für diese Zwecke unbrauchbar. Zickler wendet daher bei seinen Versuchen ein von einer planparallelen Quarzplatte abgeschlossenes Glasgefäss an, in dem sich als Elektroden ein Platinscheibchen und eine Metallkugel in geringer Entfernung von einander befinden. Die Ebene der Scheibenelektrode ist um 45^0 gegen die Achse des Gefässes geneigt, so dass ein durch das Quarzfenster eintretender Strahlenkegel die aktive Elektrode belichtet. Der günstigte Luftdruck in einem solchen Zickler'schen Empfangsrohr (vgl. Fig. 61) beträgt etwa 200 mm Quecksilbersäule. Vor der Röhre ist eine verschiebbare Quarzlinse angeordnet, um die von der Sendstation ankommenden Strahlen auf die Kathode zu konzentrieren. Sella schlägt nun die Benutzung eines derartigen Empfängers in Verbindung mit einem Telephon für Zwecke der drahtlosen Telephonie vor. Zur Speisung der Röhre soll hochgespannter Gleichstrom z. B. der einer Elektrisiermaschine dienen. Als Sender wird einer der oben beschriebenen photophonischen Anordnungen benutzt. Die hierdurch hervorgerufenen periodischen Aenderungen in der Belichtung der Kathode der Empfangsröhre sollen dann im Telephon die Schallwellen wiedererzeugen, die den Sender beeinflussen. Dussaud hat vorgeschlagen, das undulierende Bündel ultravioletter Strahlen anstatt auf das Empfangsrohr auf einen fluoreszierenden Körper fallen zu lassen, in dessen Nähe sich eine Selenzelle befindet. Unter dem Einfluss der Strahlen soll der fluoreszierende Körper ins Leuchten geraten und auf die Selenzelle wirken, so dass in dem mit dieser verbundenen Telephon die Beleuchtungsänderungen in Schallwellen umgesetzt werden.

Es ist kaum anzunehmen, dass die angeführten Systeme von Sella und Dussaud je praktische Bedeutung erlangen werden. Bei der überaus starken Absorption der ultravioletten Strahlen in der Atmosphäre, die wir bereits bei der Lichttelephonie gestreift haben, würde die Reichweite, selbst bei klarem Wetter, eine sehr geringe sein.

Wenden wir uns nunmehr der drahtlosen Telephonie mittels elektrischer Kräfte zu und beginnen mit der Hydrotelephonie, bei welcher die Uebertragung mittels galvanischer Ströme durch die Erde oder das Wasser erfolgt.

[1]) Wiedemann u. Ebert. Wied. Ann. 33. S. 241. 1887. 35. S. 209. 1888.

II.

Drahtlose Telephonie mittels elektrischer Kräfte.

1. Hydrotelephonie.

Die Stromverzweigung zwischen zwei in einem homogenen unbegrenzten Leiter befindlichen Elektroden bildet die physikalische Grundlage dieser Methode. In Fig. 62 ist der Stromverlauf zwischen den beiden im Wasser oder feuchten Erdreich angeordneten Elektroden A und B dargestellt. Wie man hieraus ersieht, verlaufen die Stromlinien nicht nur in der graden Verbindungslinie der beiden Elektroden, in der Praxis wendet man zweckmässig grosse Metallplatten an, sondern breiten sich auch in dem ganzen umgebenden Medium (Wasser bezw. Erde) aus. Während die Stromlinien in der Nähe der graden Verbindungslinie sehr dicht bei einander liegen, rücken sie an den entfernteren Stellen immer weiter auseinander. Werden nun innerhalb des Ausbreitungsgebietes der Stromlinien zwei weitere durch eine isolierte sekundäre Drahtleitung verbundene Platten in das Wasser versenkt, so nehmen dieselben die auf sie treffenden Stromlinien auf. Der Strom geht dann statt durch die schlecht leitende Wassersäule zwischen den Empfangsplatten durch die erheblich besser leitende Sekundärleitung. Es

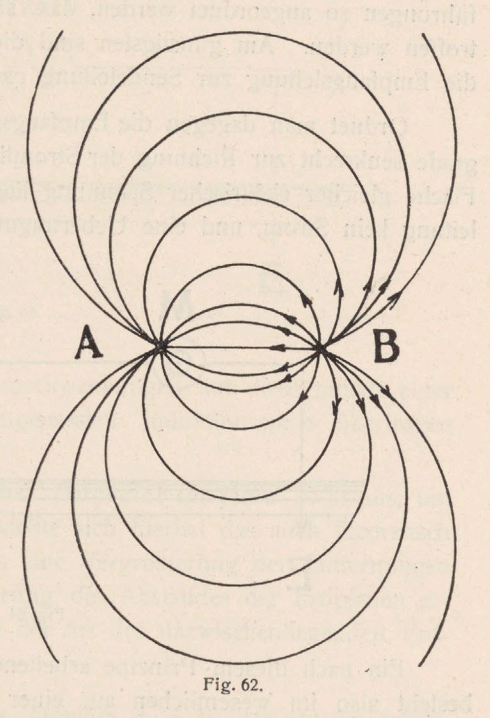


Fig. 62.

gelangt also auf diesem Wege von der auf der Sendestation ausgesandten elektrischen Energie ein gewisser Bruchteil zu dem in der sekundären oder Empfangsleitung eingeschalteten Empfänger, ähnlich wie bei Benutzung einer Drahtleitung. Beide Stationen bilden also gewissermassen einen gemeinsamen Stromkreis.

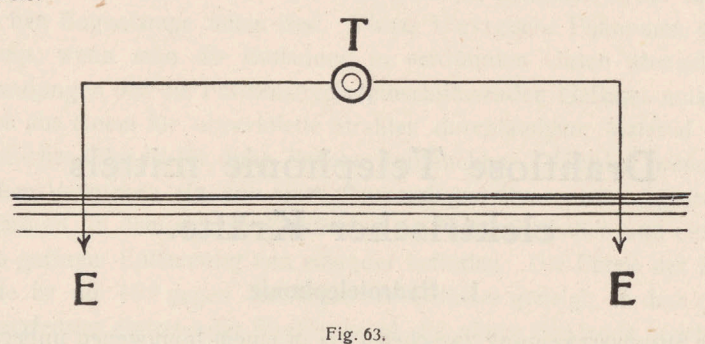


Fig. 63.

Die beiden Empfangsplatten müssen nach den voraufgegangenen Ausführungen so angeordnet werden, dass sie von den gleichen Stromlinien getroffen werden. Am günstigsten sind die Verhältnisse offenbar dann, wenn die Empfangsleitung zur Sendeleitung parallel liegt.

Ordnet man dagegen die Empfangsplatten so an, dass die Verbindungsgrade senkrecht zur Richtung der Stromlinien verläuft, so dass sie auf einer Fläche gleicher elektrischer Spannung liegen, so fliesst durch die Sekundärleitung kein Strom, und eine Uebertragung ist dabei nicht möglich.

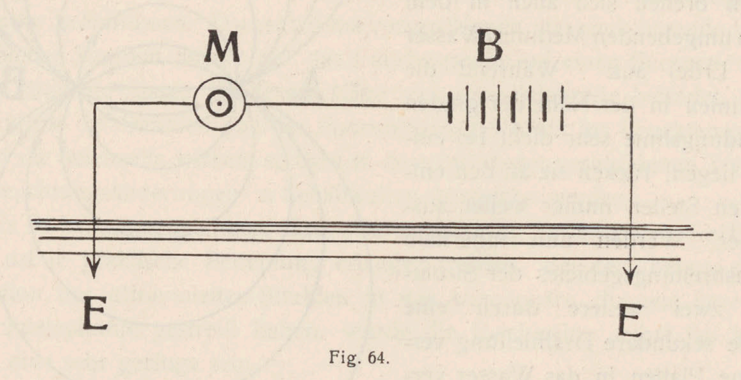


Fig. 64.

Ein nach diesem Prinzipe arbeitender Sender für drahtlose Telephonie besteht also im wesentlichen aus einer Anordnung, um der Sprache entsprechende Stromschwankungen zu erzeugen, welche zwei im Erdreich oder im Wasser angeordneten Plattenelektroden zugeführt werden.

Der Empfänger besteht aus zwei ähnlichen zu ersteren entsprechend orientierten Platten, die durch eine isolierte Drahtleitung unter Einschaltung eines Telephons verbunden sind (Fig. 63).

Um den Widerstand der Sekundärleitung nach Möglichkeit zu verringern, ist es vorteilhaft ein niederwiderständiges Telephon anzuwenden.

Die verschiedenen bisher bekannt gewordenen Versuche dieser Art unterscheiden sich nur durch die Sendeanordnung.

Am einfachsten ist die in Fig. 64 schematisch dargestellte. An Stelle das Mikrophon direkt in die die Sendeelektroden verbindende Drahtleitung

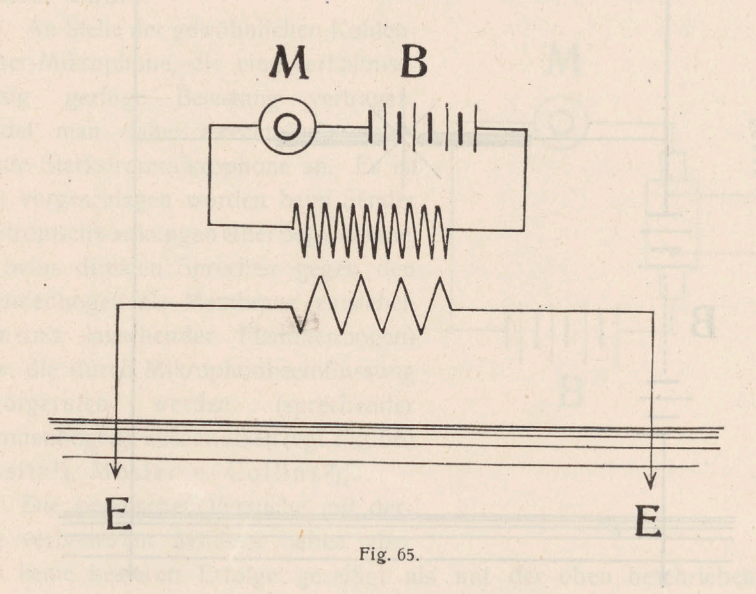


Fig. 65.

zu schalten, kann man auch die Stromschwankungen auf diese mittels einer dem Widerstand der Erdleitung angepassten Induktionsspule übertragen (Fig. 65).

Versuche dieser Art führte zuerst Ducretet im Jahre 1902 aus, um über Land zu telephonieren.[1]) Es stellte sich hierbei das auch theoretisch vorauszusagende Resultat heraus, dass eine Vergrösserung der Entfernungen der beiden Stationen eine Vergrösserung des Abstandes der Erdplatten erfordert, und dass dieser Abstand von der Art des dazwischenliegenden Erdbodens abhängig ist.

---

[1]) Vgl. Comptes Rendus B. 134. S. 92. 1902. Electricien 23. S. 67. 1902 und Rév. ind. 33. S. 34. 1902.

Aehnliche Versuche wurden fast gleichzeitig von N. Stubblefield auf dem Potomac River angestellt. The Electrician 49. S. 52. 1902.

Mit einer Basis von 60 m soll Ducretet eine Verständigung zwischen zwei 1000 m von einander entfernten Stationen herbeigeführt haben.

Auf gleicher Grundlage beruhen die seit dem Jahre 1900 bis in die neueste Zeit fortgesetzten Versuche von L. Maiche auf dem Schloss Marcais bezw. Landgute Marengo des Fürsten von Monaco.[1])

Zur Uebertragung auf 400 m genügte eine Basis von 20 m.

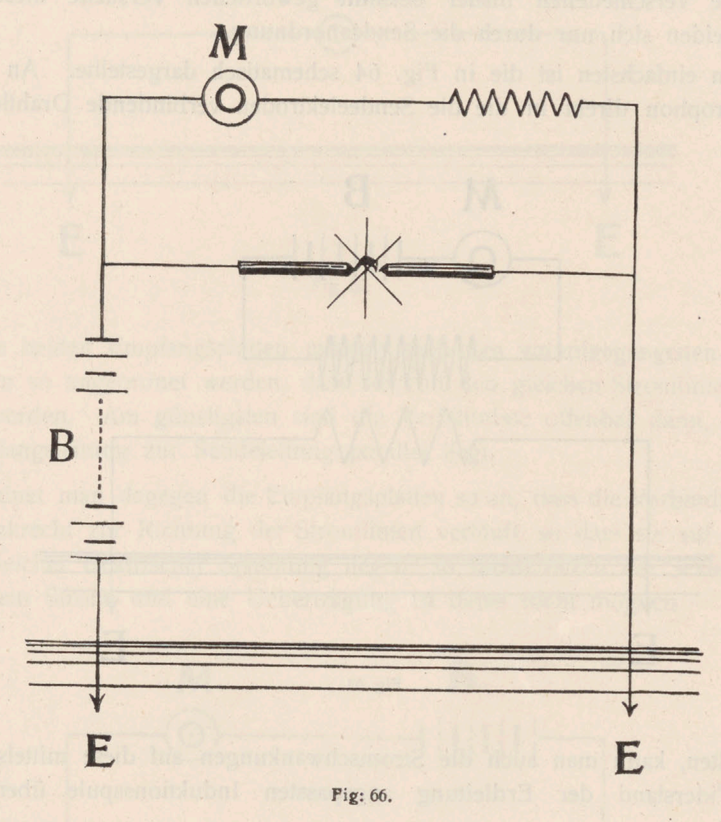


Fig: 66.

Als Grenze für eine telephonische Verständigung wird eine Entfernung von 4 km angegeben. (Nach anderen Mitteilungen[2]) sollen sogar 7 km bei 450 m Basis erreicht worden sein).

Endlich seien an dieser Stelle noch die Versuche von Armstrong-Orling (1902)[3]), vom Verfasser (1902), und von Engisch (1904) erwähnt.

Verfasser wollte dieses System gelegentlich seiner im ersten Abschnitt ausführlicher beschriebenen Wannsee-Versuche zur Verständigung vom Ufer

[1]) Vgl. Electrical Review London 50 No. 1263. 1902 u. auch D. R. P. No. 134996 vom 22. August 1901.
[2]) Vgl. hierzu: Für alle Welt. S. 373. 1902.
[3]) Electrical World and Engineer 46. S. 1122. 1905.

zum Boot anwenden als Ergänzung der lichttelephonischen Uebertragung in der entgegengesetzten Richtung. Allein die geringe Reichweite vereitelte eine praktische Ausnutzung, zumal die Notwendigkeit der Orientierung der Empfangsplatten bei fortwährend veränderter Lage des Bootes in bezug auf die Sendestation äusserst störend gewirkt haben würde.

Um einigermassen beträchtliche Reichweiten zu erzielen, muss entweder die Entfernung der Plattenelektroden und damit die Länge der primären und sekundären Leitung sehr gross gewählt, oder die auf der Sendestation durch das Mikrophon ausgelöste undulierende elektrische Energie bedeutend verstärkt werden.

An Stelle der gewöhnlichen Kohlenkörner-Mikrophone, die eine verhältnissmässig geringe Belastung vertragen, wendet man daher zweckmässig sogenannte Starkstrommikrophone an. Es ist auch vorgeschlagen worden beim Sender die Stromschwankungen einer Bogenlampe, die beim direkten Sprechen gegen den Flammenbogen als Membrane entstehen (Simon's lauschender Flammenbogen) bezw. die durch Mikrophonbeeinflussung hervorgerufen werden (sprechender Flammenbogen), auszunutzen (vgl. Fig. 66) [Musits[1]), Mosler u. Collins[2])].

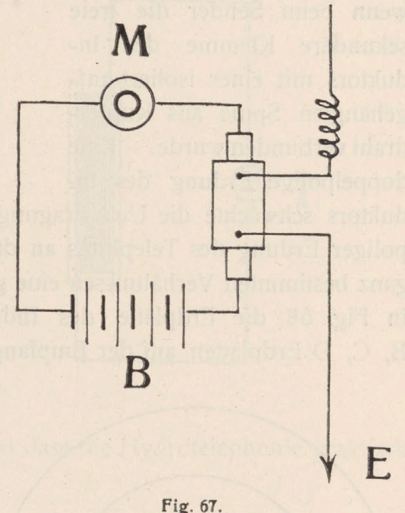


Fig. 67.

Die praktischen Versuche mit derartig verbesserten Sendern haben aber auch keine besseren Erfolge gezeitigt als mit der oben beschriebenen einfacheren Anordnung.

Endlich sei an dieser Stelle ein ebenfalls von Mosler angegebenes System kurz erwähnt, welches sich auch der Erdleitung bedient, insofern aber von den oben betrachteten unterscheidet, als an Stelle der Stromschwankungen niederer Spannung, Spannungsschwankungen geringer Stromstärke treten[3]).

Die Sendeanordnung zeigt Fig. 67.

Die Mikrophonstromschwankungen werden mittels Induktors auf hohe Spannung gebracht. Nur der eine Pol desselben ist geerdet, während der zweite Pol unverbunden bleibt.. An der Empfangsstelle wurde ein gleichfalls

1) Richard von Horwarth, Sigmund Musits und Dr. Stefan Hagyi Ristic, österreichische Patentanmeldung.

2) A. F. Collins. Western Electrician 38. S. 292. 1906; und E. T. Z. 27, S. 1073. 1906.

3) H. Mosler. E. T. Z. 26. S. 490. 1905.

einseitig geerdetes Telephon verwendet, dessen zweite Klemme frei blieb. Das Telephon besass eine Metallkapsel, welche vom Beobachter beim Hören berührt wurde.

Die Verwendung eines Luftdrahtes an der Empfangsstelle gab keine Lautverstärkung. Eine solche trat aber sofort ein, wenn der freie Pol des Telephons in die Hand genommen wurde.

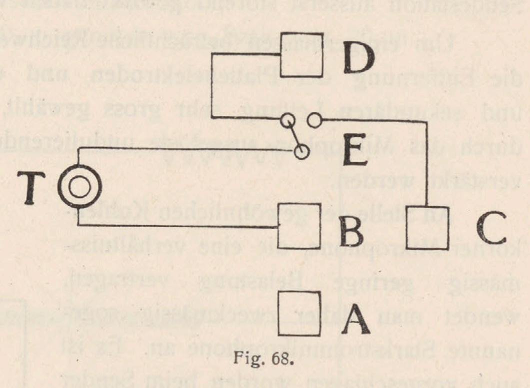


Fig. 68.

Ferner konnte die Uebertragung noch verbessert werden, wenn beim Sender die freie sekundäre Klemme des Induktors mit einer isoliert aufgehängten Spule aus Kupferdraht verbunden wurde. – Eine doppelpolige Erdung des Induktors schwächte die Uebertragung ganz ausserordentlich ab. – Bei doppelpoliger Erdung des Telephons an der Empfangsstelle liess sich dagegen unter ganz bestimmten Verhältnissen eine gute Sprachübertragung erreichen. Stellt A in Fig. 68 die Erdplatte des Induktors der Sendestation dar und seien B, C, D Erdplatten auf der Empfangsstation, T das zugehörige Telephon und E ein Umschalter zur Verbindung der Erdplatten C oder D mit dem Telephon, so zeigt sich, dass gar keine Sprachübertragung eintritt, sobald die Platten B und C mit dem Telephon in Verbindung sind.

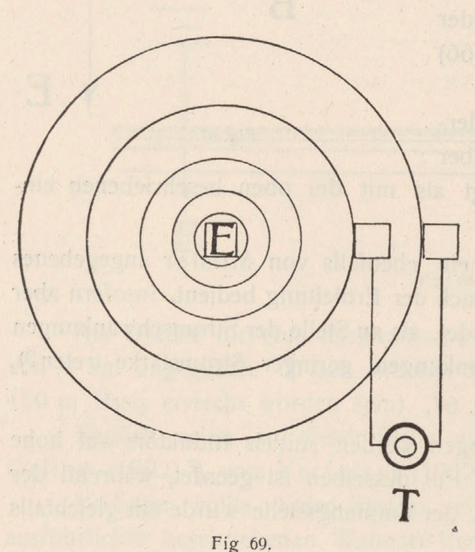


Fig 69.

Mosler nimmt an, dass die hochgespannten Mikrophonströme, die bei A in die Erde fliessen, der Sprache entsprechende rhytmische Elektrisierungen der Erde zur Folge haben, die sich mit abnehmender Intensität ausbreiten.

Eine Sprachübertragung kann daher nur dann erzielt werden, wenn Punkte verschiedenen Potentiales d. h. verschiedener Entfernung von A der Sendestation mit dem Empfänger in Verbindung stehen, da nur in diesem Fall ein entsprechender Strom das Telephon durchfliessen kann (vgl.

Fig. 69). Die auch ohne zweite Erdung des Telephons erhaltene Sprachübertragung führt Mosler auf die Erdung der metallischen Telephonkapsel durch die Hand des Beobachters zurück. Die Erdplatte war zufällig so günstig gelegen, dass ein ausreichender Entfernungsunterschied in radialer Richtung vorhanden war. Weitere Versuche sollen ergeben haben, dass Uebertragungsweiten von mehreren Kilometern, insbesondere über Wasser, nicht ausgeschlossen sind, sobald Induktorien mit hohem Uebertragungsverhältnis und Mikrophone, die grosse Stromstärken vertragen, zur Verwendung kommen. Mosler erklärt aber selbst, dass auch mit seinem System die Lösung einer drahtlosen Telephonie auf

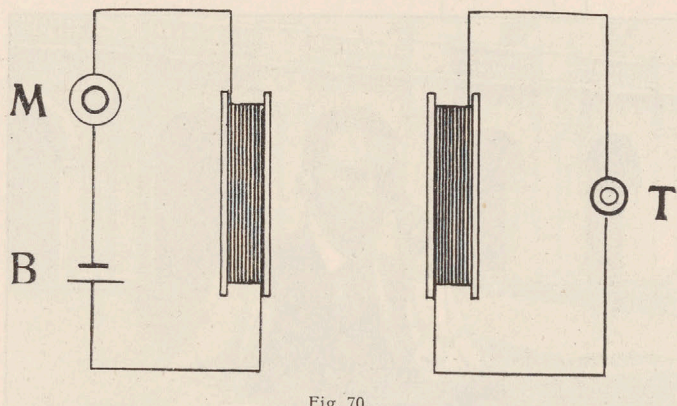


Fig. 70.

weite Entfernungen nicht gefunden sei, so dass die Hydrotelephonie praktische Bedeutung kaum erlangen dürfte.

Wenden wir uns nunmehr der

2. Induktionstelephonie

zu, bei welcher die Uebertragung mittels elektromagnetischer bezw. elektrostatischer Induktion erfolgt. Während bei der ersten Art die Induktionsströme durch die magnetischen Wirkungen von Mikrophonströmen hervorgerufen werden, d. h. elektromagnetischen Ursprungs sind, handelt es sich bei der elektrostatischen Induktion um Ladungserscheinungen.

Nach den neueren auf der Maxwell'schen Theorie beruhenden Anschauungen über elektrische Vorgänge, besteht indes kein Unterschied zwischen einer elektrischen Kraft elektromagnetischen Ursprungs und einer elektrischen Kraft elektrostatischen Ursprungs.

Den einfachsten Fall der Induktionstelephonie bildet das Mithören einer Gesprächs, das in einer am gleichen Gestänge verlaufenden Telephonleitung geführt wird.

Trowbridge von der Harward Universität hat diese Erscheinung zuerst systematisch untersucht.

Bei seinen Versuchen benutzte er zwei aus vielen Windungen eines isolierten Drahtes bestehende Drahtrollen (vgl. Fig. 70).

In den einen Stromkreis (Geber) wird ein Mikrophon nebst Stromquelle, in den zweiten Stromkreis (Empfänger) ein Telephon eingeschaltet. Die in diesem Empfangsstromkreis hervorgerufenen Induktionsströme beeinflussen die Telephonmembrane in entsprechender Weise wie die auf die Membrane des Mikrophons des Senders auftreffenden Schallwellen. Die



Fig. 71.

Uebertragung gelingt aber auf diese Weise nur auf verhältnismässig kurze Entfernungen. Da die Stromschwankungen im Geberkreise über eine bestimmte von der maximalen Belastung des Mikrophons abhängigen Grösse nicht gesteigert werden können[1]), so müsste man den Induktionsrollen praktisch kaum anwendbare Abmessungen geben, um eine grössere Reichweite zu erzielen. Aus diesem Grunde sind auch die auf Grund der Trowbridge'schen Versuche erzielten praktischen Resultate bedeutungslos.

An dieser Stelle seien noch kurz die diesbezüglichen Vorführungen von M. R. Hutchison auf der Weltausstellung in St. Louis angeführt.

---

[1]) E. Wilson und C. J. Evans benutzten anstatt Schwachstrom durch akustische oder magnetische Beeinflussung eines Lichtbogens zum Undulieren gebrachten Starkstrom. The Electrician 48. S. 46. 1901.

Der Sendestromkreis bestand aus einer grossen Drahtschleife, in die ein Mikrophon und eine Batterie eingeschaltet war. Der tragbare Empfänger wurde aus einer aus mehreren Windungen bestehenden Drahtspule von etwa 0,3 m Durchmesser gebildet, die zwei Telephone enthielt. (Fig. 71.)

Die Entfernung, auf welche eine Sprachübertragung noch gelang, war natürlich eine sehr beschränkte.

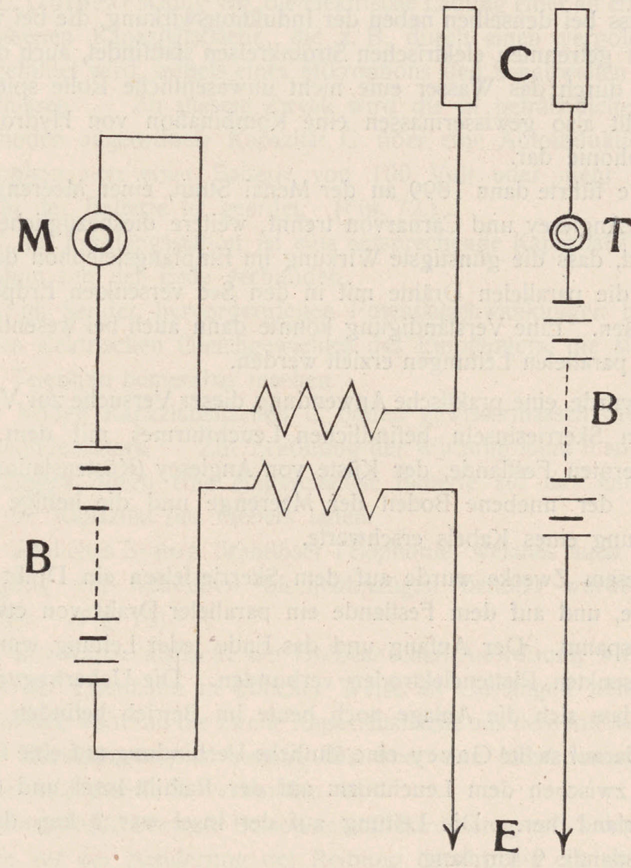


Fig. 72.

Von günstigerem Erfolge begleitet waren die Arbeiten und Versuche von Gavey und Preece, die bis ins Jahr 1894 zurückreichen.[1]) Sie wurden zuerst von Gavey über den Loch-Ness-See im schottischen Hochlande ausgeführt.

[1]) E. T. Z. 21, S. 812. 1900.

Bei einem mittleren Abstande von 2,1 km wurden zwei Drähte, auf jeder Seite des Sees einer, parallel zu einander auf eine Länge von ungefähr 6,5 km ausgespannt und ihre Enden gut geerdet.

In die Senderleitung wurde ein Deckert'sches Mikrophon nebst einer Batterie von 14 Volt eingeschaltet, in die Empfangsleitung ein Telephon.

Letzteres gab genau die in das Mikrophon gesprochenen Worte wieder.

Die besseren Resultate dieser Versuche sind offenbar darauf zurückzuführen, dass bei denselben neben der Induktionswirkung, die bei vollständig von einander getrennten elektrischen Stromkreisen stattfindet, auch die Leitung des Stromes durch das Wasser eine nicht unwesentliche Rolle spielt. Diese Methode stellt also gewissermassen eine Kombination von Hydro- und Induktionstelephonie dar.

Preece führte dann 1899 an der Menai Strait, einer Meerenge, die die Grafschaften Anglesey und Carnarvon trennt, weitere diesbezügliche Versuche aus und fand, dass die günstigste Wirkung im Empfangstelephon dann erzielt wird, wenn die parallelen Drähte mit in den See versenkten Erdplatten verbunden werden. Eine Verständigung konnte dann auch bei wesentlicher Verkürzung der parallelen Leitungen erzielt werden.

Bald wurde eine praktische Anwendung dieser Versuche zur Verbindung des auf den Skerriesinseln befindlichen Leuchtturmes mit dem ungefähr 4,5 km entfernten Festlande, der Küste von Anglesey (Küstenstation Cemlin), gemacht, da der unebene Boden der Meerenge und die heftige Strömung die Anwendung eines Kabels erschwerte.

Zu diesem Zwecke wurde auf dem Skerriesfelsen ein Draht von etwa 700 m Länge, und auf dem Festlande ein paralleler Draht von etwa 5,7 km Länge ausgespannt. Der Anfang und das Ende jeder Leitung wurde mit in den See versenkten Plattenelektroden verbunden. Die Uebertragung war so vorzüglich, dass sich die Anlage noch heute im Betrieb befinden soll.

Kurz darauf stellte Gavey eine ähnliche Verbindung auf eine Entfernung von 13 km zwischen dem Leuchtturm auf der Rathlin-Insel und der Nordküste von Irland her. Die Leitung auf der Insel war 2 km, die Leitung auf dem Festlande 9 km lang.

Auch zur Verständigung zwischen Schiffen untereinander und zwischen Schiff und Land wurde dieses kombinierte System der Leitungs- und Induktionstelephonie vorgeschlagen. In diesem Falle wäre über die ganze Länge des Schiffes in der Höhe der Topmasten ein Kupferdraht zu spannen, der mit in das Meer versenkten Platten zu verbinden ist.

Eine ausgedehntere Anwendung dieses Systems ist aber ebensowenig wie bei der Hydrotelephonie zu erwarten. Den Hauptnachteil bildet die

Notwendigkeit sehr lange Parallelleitungen anzulegen, deren Länge nahezu der zu überbrückenden Entfernung gleichkommt.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch die Versuche von Valle und Plisnier in Triest, die vor einigen Monaten in Zeitungsnotizen erwähnt wurden, über die aber Einzelheiten bisher nicht bekannt geworden sind, hierher gehören.

Zum Schluss seien noch einige Anordnungen angeführt, die auf elektrostatischer Induktion beruhen.

A. E. Dolbear schlug vor, die elektrische Ladung einer an einem Luftdraht angeschlossenen Kapazitätsfläche, die z. B. durch einen vergoldeten Papierdrachen gebildet wird, mittels eines Mikrophons den Schallwellen entsprechend zu beeinflussen. – Zu diesem Zweck wird die in beträchtlicher Höhe über dem Erdboden angeordnete Kapazität C über eine Autoinduktionsspule und ein Mikrophon von einer Batterie von 100 Volt oder mehr geladen; der andere Pol der Batterie ist geerdet. (Fig. 72.)

Auf der Empfangsstation ist eine entsprechende Kapazitätsfläche C über ein Telephon mit der Erde verbunden.

Die im Sender hervorgerufenen Potentialschwankungen bedingen Störungen des elektrischen Gleichgewichtes des Empfängers, die sich im eingeschalteten Telephon bemerkbar machen.

Die beiden Kapazitätsflächen C bilden gewissermassen die Belegungen eines Luftkondensators. – Zur Erhöhung der Wirkung kann man die Kapazität des Empfängers durch eine eingeschaltete Batterie auf das entgegengesetzte Potential der Kapazität des Gebers laden.

Ein ähnliches System drahtloser Telephonie, welches auch praktisch zur Verständigung mit fahrenden Eisenbahnzügen benutzt wurde, rührt von Edison her. (Fig. 73)

Die eine Kapazitätsfläche der Dolbear'schen Anordnung wird hier durch eine längs der Eisenbahn in üblicher Weise an Gestängen befestigte Drahtleitung gebildet, während die zweite Kapazitätsfläche aus dem mit Metall belegten Dach des Eisenbahnwagens besteht, das über eine Induktionsspule und die Wagenräder mit der Erde verbunden ist.

Als Empfänger benutzte Edison sein Elektromotograph-Telephon, welches bekanntlich auf der Aenderung der Reibung beruht, die ein an einer Membrane befestigter auf einem angefeuchteten rotierenden Kalkzylinder schleifender Palladiumstab bei Stromübergang erfährt.

Nach den bekannt gewordenen ziemlich unvollständigen Angaben scheinen auch die neuerdings von A. F. Collins angestellten Versuche auf ähnlicher Grundlage zu beruhen [1]).

---

[1]) A. F. Collins. Electrical Review. New-York 41. S. 742. 1902. – Electrical World 39. S. 584. 1902 und 41. S, 1046. 1903. – Scientific American 87. S. 37. 1902.

Collins benutzt ein Mikrophon, welches mit einer Batterie und der primären Spule eines Induktors in Serie geschaltet ist, während die sekundäre Spule einerseits geerdet, andererseits mit einem Luftdraht verbunden wird. Parallel zu den Klemmen des Induktors ist eine Leydener Flasche angeordnet. Der Empfänger besteht aus einem entsprechenden Luftdraht, der über die eine Wicklung eines Transformators geerdet ist, während die andere Wicklung

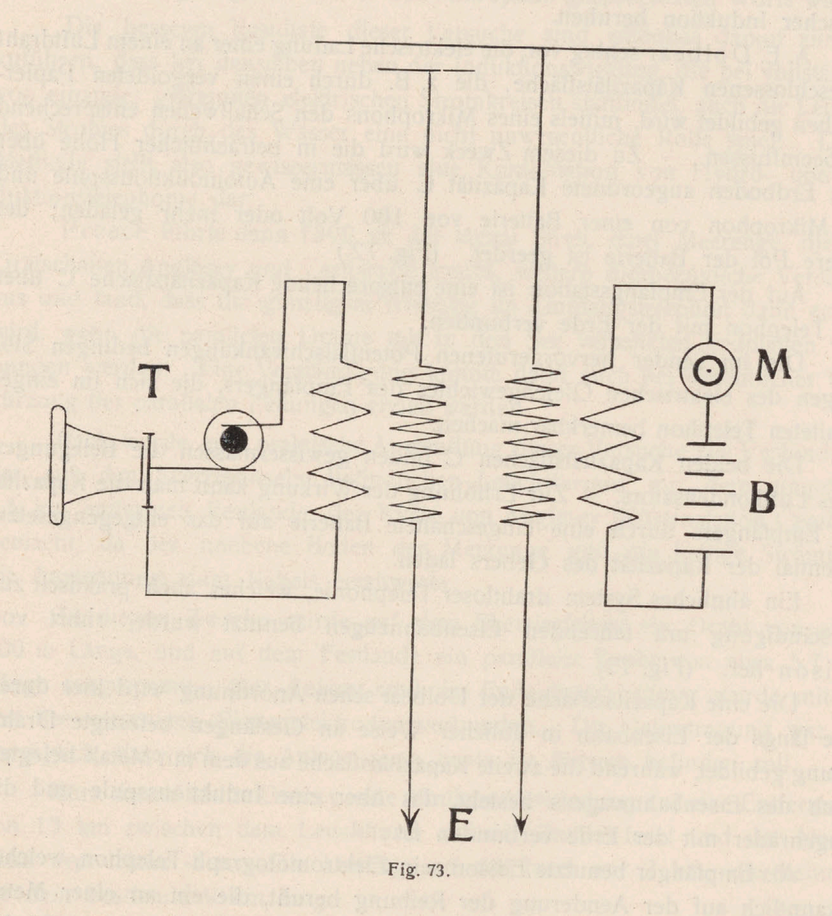


Fig. 73.

mit einem Telephon in Verbindung steht. Nach den Angaben Collins werden im Luftdrahte des Senders elektrische Wellen von grosser Länge erzeugt, die sich durch die Erde bezw. das Wasser fortpflanzen.

Collins Versuche begannen in Philadelphia gegen Ende des Jahres 1899. Im Jahre 1900 gelang eine Verständigung auf ungefähr 60 m. Später wurden die Versuche am See Rockland im Staate New-York fortgesetzt und auf ca. 5 km ausgedehnt.

Den Mitteilungen amerikanischer Zeitungen zufolge sollen neuerdings weitere Versuche mit dem Collins'schen System auf dem North (zwischen Jersey und New-York) ausgeführt worden sein.

Zwischen zwei in entgegengesetzter Richtung fahrenden Schiffen konnten Gespräche auf eine Entfernung von 150 – 180 m ausgetauscht werden.

Obgleich auch mit den elektrostatischen Induktions-Methoden, sei es ohne oder mit Ausnutzung der Erdleitung, nennenswerthe praktische Erfolge über grosse Entfernungen nicht erzielt worden sind, interessieren dieselben doch durch die Anwendung geerdeter mit Kapazitätsflächen verbundener Luftleiter, die bei der im folgenden Abschnitt zu behandelnden elektrischen Wellentelephonie eine so wichtige Rolle spielen.

3. Die Wellentelephonie.

Schon bald nach dem Bekanntwerden der ersten Versuche Marconis mittels elektrischer Wellen drahtlos zu telegraphieren, wurde von verschiedenen Seiten ein auf gleichen Prinzipien beruhendes System elektrischer Wellentelephonie vor-

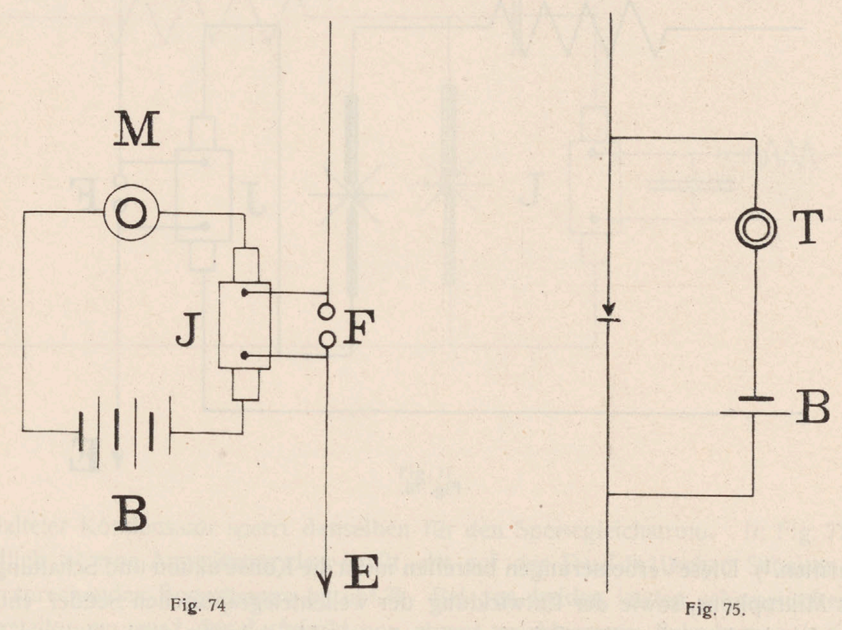


Fig. 74 Fig. 75.

geschlagen. Nach diesen Vorschlägen wäre beim ursprünglichen Marconi'schen Sender nur der Stromunterbrecher durch ein Mikrophon zu ersetzen (Fig. 74). Beim Sprechen in dasselbe soll dann zwischen den mit der Sekundärspule des Induktors verbundenen Kugeln des Oscillators ein Funkenstrom übergehen, der

[1]) Vgl. z. B. Wireless telephonic communication between moving ferry boats. Scientific American 88. S. 394. 1903.

den Luftdraht in Schwingungen versetzt, so dass von demselben elektrische Wellen im Rythmus der Sprache in die Ferne gesandt werden.

Beim Empfänger (vgl. Fig. 75) können alle Anordungen angewendet werden, die zum telephonischen Empfang wellentelegraphischer Zeichen dienen (Autokohärer, Mikrophonkontakt, elektrolytische Zelle, Magnetdetektor usw.).

Zahlreiche, oft äusserst komplizierte Variationen dieser einfachsten Sendeanordnung finden sich in amerikanischen und englischen Patent- und Zeit-

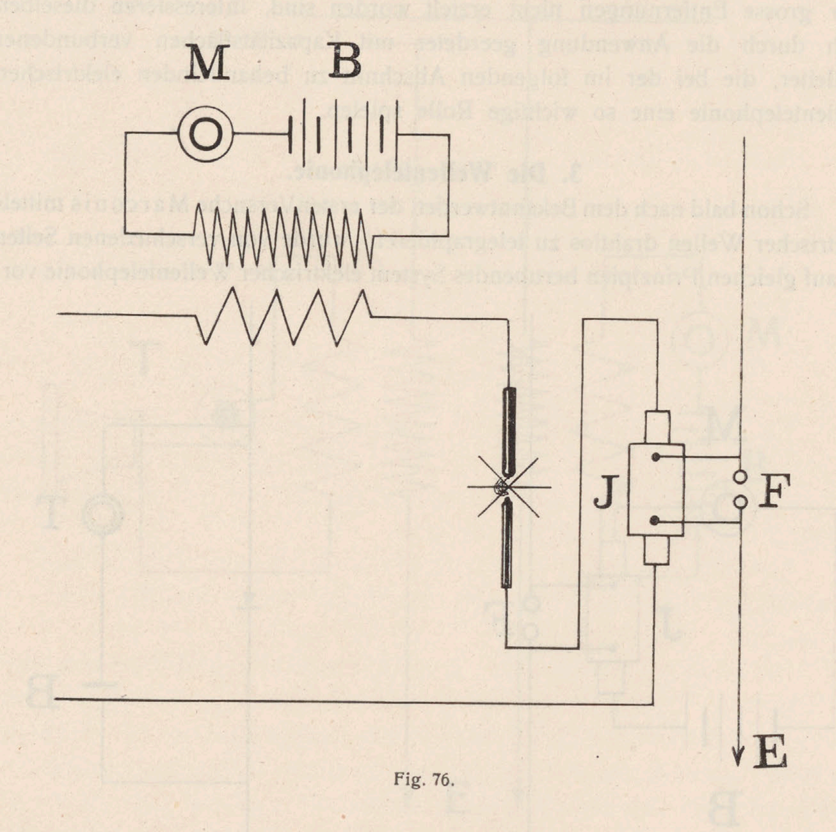


Fig. 76.

schriften.[1]) Diese Verbesserungen betreffen meist die Konstruktion und Schaltung des Mikrophons, sowie der Entwicklung der wellentelegraphischen Sender entsprechend, das sekundäre Schwingungssystem. [Anordnung nach Marconi, offenes Schwingungssystem, oder nach Braun, mit einem geschlossenen Schwingungskreis gekoppelter Luftdraht.[2])]

[1]) Vgl. hierzu z. B. F. J. Mc. Carty, San Francisco U. St. A. Anmeldung C. 14540. Klasse 21 a vom 19. April 1906. (D. R. P. No. 178051).

[2]) Eine kurze, aber treffliche Uebersicht über diese Entwicklung gibt H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 4. S. 364. 1903.

Eine häufig wiederkehrende Modifikation betrifft den Ersatz des Mikrophones durch eine sprechende Bogenlampe, um dem primären Stromkreis des Induktors grössere Energiemengen zuführen zu können.[1]) Einige derartige Sender sind in Fig. 76 – 78 dargestellt. Fig. 76 entspricht der Simon'schen Schaltung der sprechenden Bogenlampe. Aehnlich ist die Schaltung der Fig. 77. Anstelle der Serienschaltung ist hier eine Parallelschaltung der primären Spule des Induktors zur Bogenlampe getreten. Ein in diesen Parallelkreis eingeschalteter Kondensator sperrt denselben für den Speisegleichstrom. In Fig. 78 endlich ist eine Anordnung dargestellt, die auf der Duddell'schen Schaltung der sprechenden Bogenlampe beruht.[2]) Bei den beiden letzten schematischen Darstellungen wird der Luftdraht von einem geschlossenen Schwingungskreis erregt, im Gegensatz zur Anordnung der Fig. 76, welcher ein einfacher Marconi-Sender zu Grunde liegt.

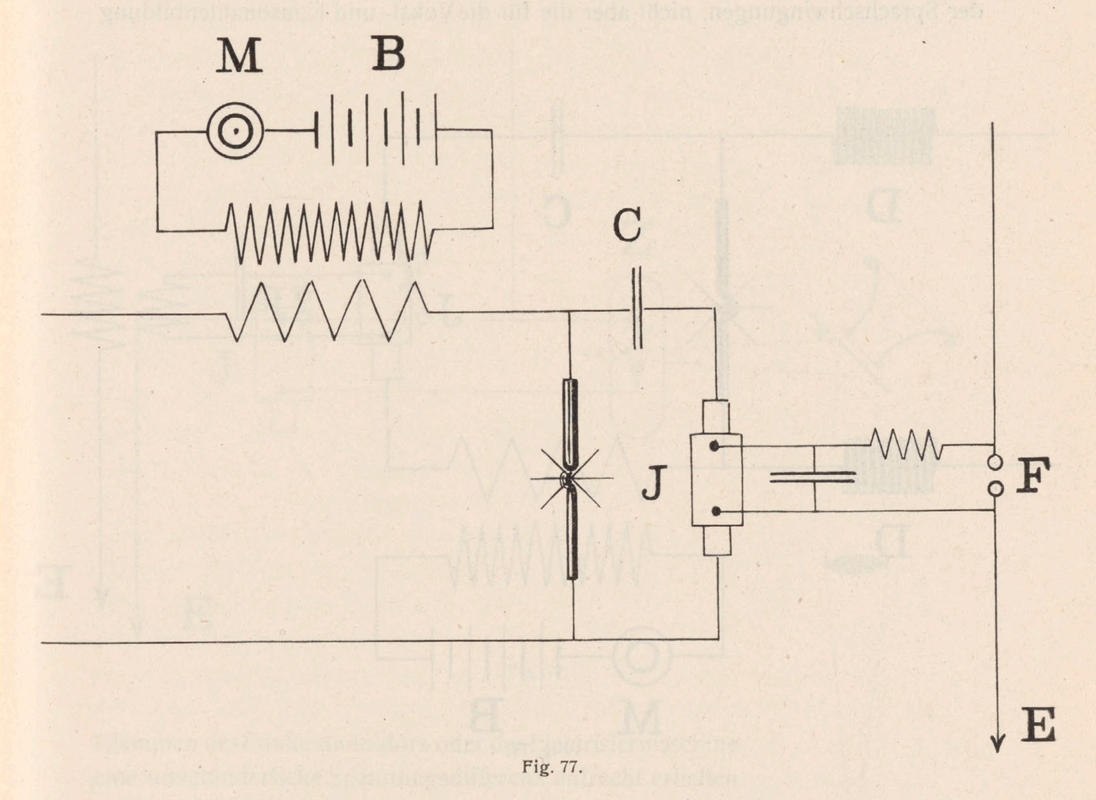


Fig. 77.

[1]) Vgl. auch: H. Wesselius D. R. P. No. 176010 vom 28. Februar 1905, der die Stromschwankungen durch Veränderung des Abstandes der Bogenlampen-Elektroden hervorrufen will und zu diesem Zwecke den einen beweglich angeordneten Kohlenstift der Lampe mit dem Mittelpunkt einer Membran verbindet.

[2]) O. Nussbaumer, Phys. Zeitschr. 5, S. 796. 1904.

Auch die Beeinflussung der Erregerwicklungen einer den Induktor speisenden Gleichstrommaschine sei erwähnt.[1])

Ein ausführlicheres Eingehen auf die einzelnen Vorschläge dieser Art kann unterbleiben, da sich auf diesem Wege wohl eine Uebertragung musikalischer Töne, eine Uebertragung der Sprache aber nur in äusserst unvollkommener Weise erzielen lässt. Der Grund liegt in der Unmöglichkeit, auf die angegebene Weise eine „sprechende", aktive Funkenstrecke zu erzeugen. Nur die Grundtöne der Sprachschwingungen, nicht aber die für die Vokal- und Konsonantenbildung

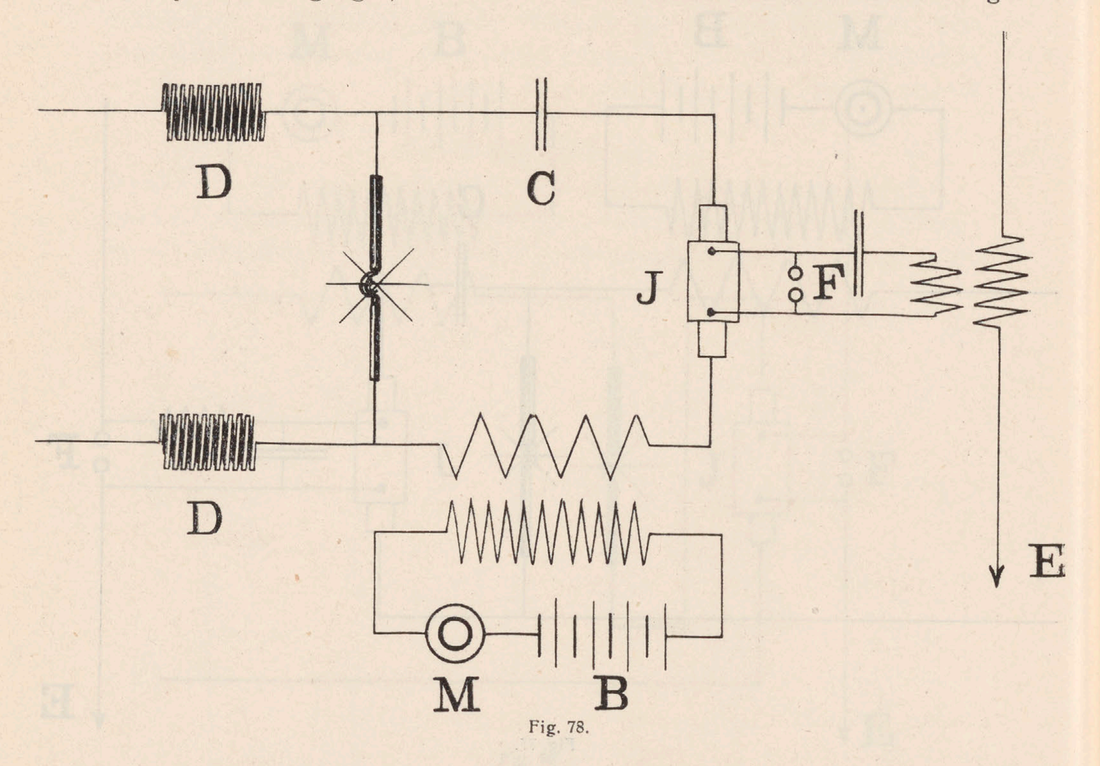


Fig. 78.

massgebenden Obertöne rufen Funkenentladungen hervor, so dass man nur eine im Rythmus der Sprache und in Höhe des Grundtons desselben „singende" Funkenstrecke erhält.[2]) Verringert man die Länge der Funkenstrecke, um auch die Obertöne zur Geltung zu bringen, so wird die Entladung lichtbogenartig und inaktiv; es treten dann überhaupt keine Schwingungen mehr auf.

Das einzige Hilfsmittel, diese Uebelstände zu beseitigen, besteht offenbar darin, die Funkenstrecke aus einer getrennten Kraftquelle zu speisen und nur

[1]) H. Mosler, Patentanmeldung. M 26653. Klasse 21a 4 vom 21. Dezember 1904.

[2]) Vgl. hierzu: R. Franz und J. Reinartz, E. T. Z. 25. S. 1083. 1904 und 26. S. 65. 1905, ferner W. Ruppin, E. T. Z. 26. S. 19. 1905.

die Auslösung oder auch die Beeinflussung derselben durch die Schallwellen bezw. durch die Mikrophonströme zu bewirken. Diese Beeinflussung kann sowohl primär, im Speisestromkreis des Induktors, als auch im sekundären Schwingungssystem erfolgen.[1]) Ein Vorschlag letzterer Art rührt z. B. von Lonardi her (1897). Nach demselben sollten vermittelst der zu übertragenden Schallschwingungen die beiden in Oel getauchten Kugeln des Righi'schen Oscillators in Schwingungen versetzt werden, während an den sekundären

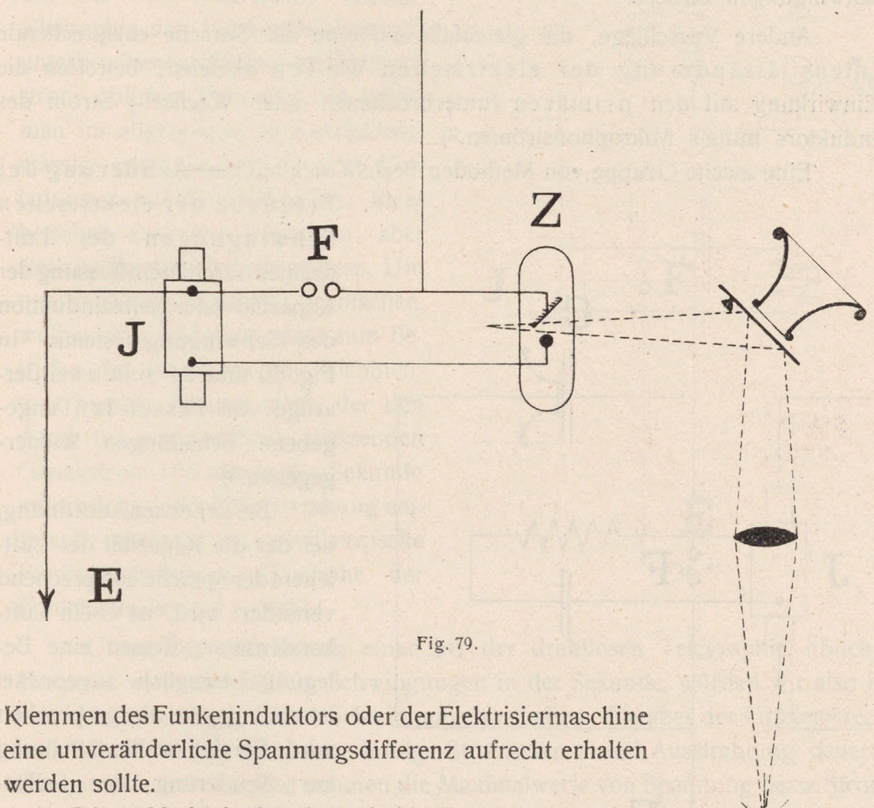


Fig. 79.

Klemmen des Funkeninduktors oder der Elektrisiermaschine eine unveränderliche Spannungsdifferenz aufrecht erhalten werden sollte.

Diese Methode beruht auf der Beobachtung, dass sich die Intensität der ausgesandten elektrischen Wellen mit der Länge der Funkenstrecke ändert. Ein anderer zur gleichen Gruppe gehöriger Vorschlag wurde von Jan Szczepanik gemacht.[2]) Szczepanik benutzt eine Funkenstrecke konstanter Länge, die mit einer lichtelektrischen Entladungsröhre [ähnlich wie solche Zickler bei seiner

[1]) Vgl. hierzu auch Brown und Neilson. Improvements in means of telegraphing or telephoning without wires. Britische Patentschrift. Nr. 28955. 1896. Eingereicht am 17. Dezember 1896.

[2]) D. R. P. No. 138226 vom 9. Mai 1901.

lichtelektrischen Telegraphie anwandte[1])] in Serie (oder parallel) geschaltet ist (Fig. 79). Die Kathode dieser Röhre wird mittels eines der Sprache entsprechend in Schwingung versetzten Lichtbündels, das von einer spiegelnden Membran reflektiert wird, belichtet. Diesen Belichtungen entsprechend soll sich der Widerstand der Entladungsröhre und damit die Speisestromstärke des Oscillators ändern, so dass von dem mit letzerem verbundenen Luftdrahte elektrische Wellen entsendet werden, deren Intensität mit den Sprachschwingungen variiert.

Andere Vorschläge, die gleichfalls auf eine der Sprache entsprechende Intensitätsänderung der elektrischen Wellen abzielen, betreffen die Einwirkung auf den primären (unterbrochenen oder Wechsel-) Strom des Induktors mittels Mikrophonströmen.[2])

Eine zweite Gruppe von Methoden bezieht sich auf eine Aenderung der Frequenz der elektrischen Schwingungen des Luftdrahtes durch Beeinflussung der Kapazität oder Selbstinduktion des Schwingungssystems. In Fig. 80 und 81 sind zwei derartige von Fessenden angegebene Schaltungen wiedergegeben.[3])

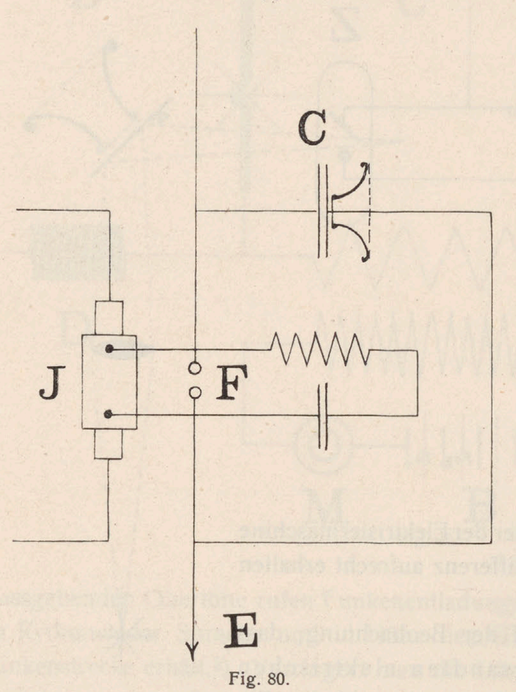


Fig. 80.

Bei der ersten Anordnung, bei der die Kapazität des Luftleiters der Sprache entsprechend verändert wird, ist C ein Luftkondensator, dessen eine Belegung beweglich angeordnet ist und gegen die gesprochen wird. Bei der zweiten Schaltung zur Aenderung der Selbstinduktion des Luftleiters ist in den letzteren die primäre Wicklung eines Ringtransformators, welcher ein Eisendrahtbündel enthält, eingeschaltet; die sekundäre Spule steht mit einem Mikrophon und einer Batterie in Verbindung. (Fig. 81)

1) Vgl. S. 55-56.

2) Vgl. hierzu H. Mosler, Patentanmeldung M. 26653. Klasse 21 a 4 vom 24. Dezember 1904 und D. R. P. No. 173690 vom 15. Juli 1905.

3) Vgl. hierzu die amerikanischen Patentschriften No. 706742 vom 6. Juni 1902. No. 706747 und No. 753863, beide vom 28. September 1901, sowie D. R. P. No. 171535 vom 13. August 1902.

Obwohl sich nach den angegebenen Methoden, sowohl der ersten als auch der zweiten Gruppe, ohne Zweifel eine der Sprache entsprechende Beeinflussung der Schwingungen des Luftleiters erzielen lässt, so bereitete doch die praktische Ausführung der verschiedenen Vorschläge grosse Schwierigkeiten, weil es an einem geeigneten Verfahren zur Speisung der Funkenstrecke fehlte. Speist man nämlich wie bei der elektrischen Wellentelegraphie den Funkeninduktor mit unterbrochenem Strom oder Wechselstrom üblicher Frequenz, so erhält man im allgemeinen eine verhältnismässig geringe Anzahl von Entladungen in der Zeiteinheit; diese bestehen aus zwar intensiven, aber stark gedämpften Schwingungen. Um uns die Verhältnisse klar zu machen, wollen wir annehmen, dass zum Betriebe des Induktors ein Turbinenunterbrecher benutzt wird, der den durch die primäre Spule fliessenden Gleichstrom 100 mal in der Sekunde unterbricht. Jeder Unterbrechung entspreche sekundär eine oscillatorische Funkenentladung. (Tonhöhe der Funkenstrecke also = 100.)

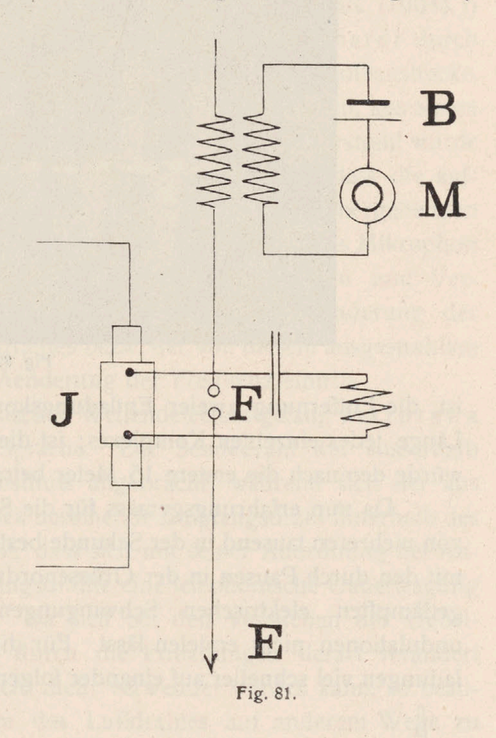


Fig. 81.

Unter Zugrundelegung einer bei der drahtlosen Telegraphie üblichen Frequenz von einer Million Schwingungen in der Sekunde, würden wir also bei jeder Unterbrechung 10 000 Schwingungen erhalten. Da aber der Funkenstrecke und dem Schwingungssystem infolge Stromwärme und Ausstrahlung dauernd Energie entzogen wird, so nehmen die Maximalwerte von Spannung bezw. Stromstärke von Schwingung zu Schwingung ab und erlöschen schon nach einer geringen Anzahl von Schwingungen vollständig. [Vgl. Fig. 82; vom Verfasser mittels Glimmlicht-Oscillograph aufgenommene Stromkurve einer Kondensatorentladung.[1])] Wie die Erfahrung lehrt, tritt dies schon nach 20 Schwingungen ein. Wir erhalten also anstelle von 10 000 Schwingungen nur 20 Schwingungen bei jeder Entladung, die sich während $\frac{1}{50000}$ Sekunde vollziehen. Dann tritt eine relativ lange Pause von $\frac{1}{100} - \frac{1}{50000} = \frac{499}{50000}$ Sekunde ein, bis eine neue Entladung

[1]) E. Ruhmer, Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 19. 141. 1906.

einsetzt. Fig. 83 gibt eine schematische Darstellung der aufeinanderfolgenden Entladungen. Der Abstand derselben ist aber bedeutend verkürzt gezeichnet, da unter Zugrundelegung obigen Zahlenbeispiels, welches der Praxis entnommen

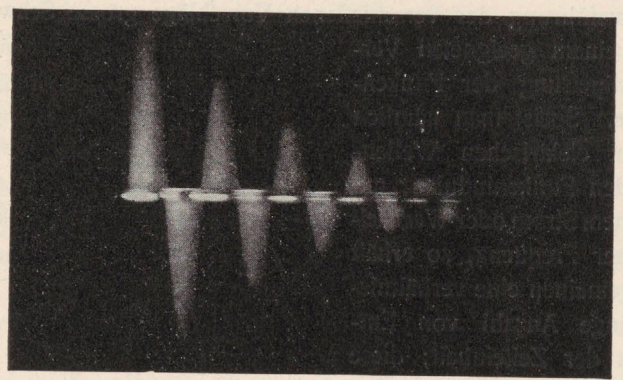


Fig. 82.

ist, die Entfernung zweier Entladungskomplexe 500 mal so gross ist, als die Länge jedes einzelnen Komplexes; ist diese, wie in der Figur, 3 Centimeter, so würde demnach die erstere 15 Meter betragen.

Da nun erfahrungsgemäss für die Sprache noch akustische Schwingungen von mehreren tausend in der Sekunde bestimmend sind [1]), so ist es klar, dass sich mit den durch Pausen in der Grössenordnung von $\frac{1}{100}$ Sekunde unterbrochenen gedämpften elektrischen Schwingungen eine Uebertragung der Sprachundulationen nicht erzielen lässt. Für diese Zwecke müssen die einzelnen Entladungen viel schneller auf einander folgen, der Luftleiter also durch eine Funken-

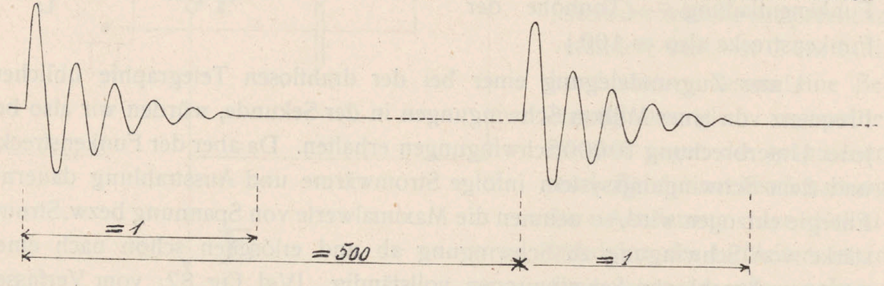


Fig. 83.

strecke erregt werden, deren Eigenton mindestens der sekundlichen Schwingungszahl des höchsten für die Sprachübertragung noch in Frage kommenden Tones, d. h. etwa 3000 – 4000, gleichkommt. Um eine Uebertragung dieses störenden Eigentones selbst zu vermeiden, wird man sogar die Entladungszahl noch

[1]) Der höchste überhaupt noch wahrnehmbare Ton entspricht etwa 33000, der höchste musikalische Ton etwa 4000 Schwingungen pro Sekunde.

weiter steigern müssen, so dass sie die Schwingungszahl des höchsten unserem Ohre überhaupt noch wahrnehmbaren Tones übertrifft.

Die ersten gelungenen Versuche in dieser Richtung unter Benutzung einer Funkenstrecke mit einer Funkenzahl von 10000 in der Sekunde führte Q. Majorana im physikalischen Institut der Universität Rom aus (1904).[1] Die Sprachbeeinflussung geschah nach dem Vorschlage von Lonardi durch eine den Schallwellen entsprechende Aenderung der Länge der Funkenstrecke. Zu diesem Zwecke war diese von einer festen und einer beweglichen, aus einem Quecksilberstrahl bestehenden Elektrode begrenzt. Der Quecksilberstrahl wurde mit Hilfe von Mikrophonströmen in Schwingungen versetzt, so dass die aufeinanderfolgenden zwischen der festen Elektrode und dem Strahl übergehenden Funken rythmische Längenänderungen erfuhren, die mit den auf das Mikrophon wirkenden Schallwellen übereinstimmten. Diese Verlängerungen und Verkürzungen der Funkenstreke bewirken eine entsprechende Aenderung der Intensität der Schwingungen des Luftdrahtes bezw. der von diesem ausgestrahlten elektrischen Wellen, ohne dass eine Aenderung der Frequenz eintritt.

Unter Benutzung eines magnetischen Wellendetectors gelang Majorana eine verständliche Wiedergabe der Sprache. Der Sendedraht war ausserhalb des Gebäudes des physikalischen Instituts angebracht, während sich der aus einem ungefähr 1 m langen Drahtstück bestehende Empfangsdraht innerhalb des Gebäudes befand. Majorana glaubt, dass sich mit seiner Anordnung bei Anwendung längerer Sende- und Empfangsdrähte eine telephonische Uebertragung auf einige Kilometer erzielen lässt. Da sich bei den Versuchen der Uebelstand ergab, dass das Quecksilber durch die Entladungen derart verändert wird, dass es für spätere Versuche nicht mehr verwendet werden kann, so beabsichtigt Majorana die Schwingungen des Luftdrahtes auf anderem Wege zu beeinflussen und zwar durch Anwendung eines direkt zwischen Funkenstrecke und Luftleiter eingeschalteten Hochspannungsmikrophones. Da die Intensität der Strahlung von dem Widerstande des Luftleiters abhängig ist, so würden die Widerstandsänderungen eines derartigen Mikrophons analoge Schwankungen der Intensität der ausgesendeten elektrischen Wellen hervorrufen. Ueber die Konstruktion seines Hochspannungsmikrophons, sowie über praktische Erfolge mit einer derartigen Anordnung ist indessen nichts bekannt geworden[2].

Ehe wir diese Versuche verlassen, wollen wir uns noch etwas eingehender mit der Art und Weise beschäftigen, wie Majorana die 10000 Funkenentladungen in der Sekunde erzeugte.

Die diesbezüglichen Veröffentlichungen geben nur an, dass zur Speisung

[1]) Vgl. Nuovo Cimento 1904. The Electrician. 7. Oktober 1904. E. T. Z. 25. S. 943. 1904. Éclair. Électr. 43. S. 65. 1905.

[2]) Neuerdings wird über derartige am 8. April 1907 in Rom zwischen dem Istituto telegraphico in Trastevere und der radiotelegraphischen Station Monte Mario angestellte Versuche berichtet.

der Funkenstrecke ein Funkeninduktor benutzt wurde, dessen primäre Spule von dem Wechselstrom des Städtischen Elektrizitätswerkes von 40 Perioden in der Sekunde verbunden war. Bei oberflächlicher Betrachtung wird man geneigt sein anzunehmen, dass ein derartig gespeister Funkeninduktor (ähnlich wie in dem oben betrachteten Falle bei unterbrochenem Gleichstrom), entsprechend 80 primären Stromschwankungen auch sekundär nur 80 Entladungen in der Sekunde hervorrufen kann[1]) und dass zur Erzeugung von 10000 sekundlichen

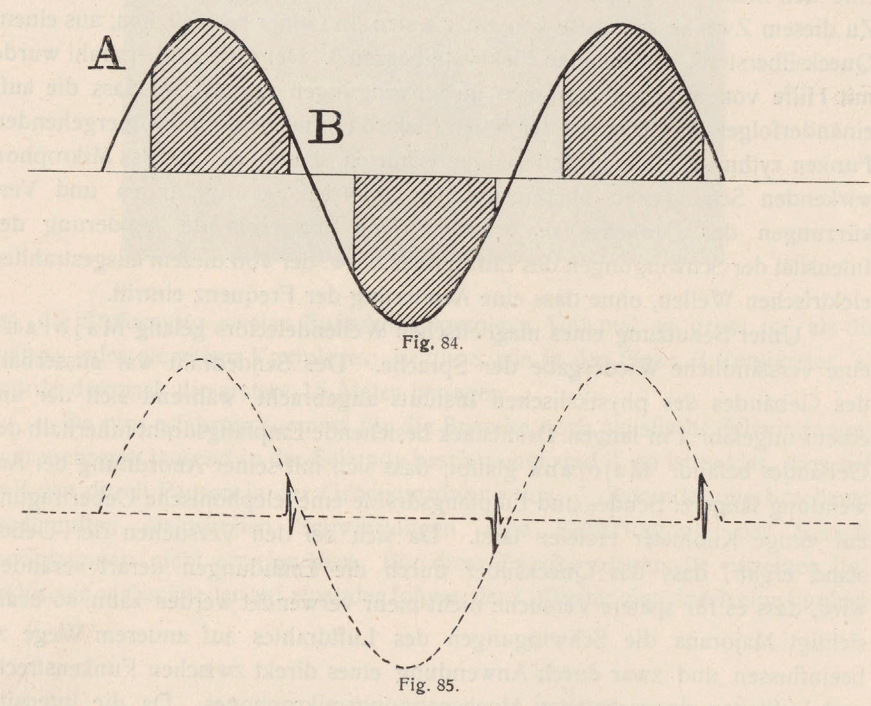


Fig. 84.

Fig. 85.

Entladungen ein Wechselstrom von 5000 Perioden erforderlich sei[2]). Im allgemeinen trifft dies auch zu. Stellt Fig. 84 den Verlauf der sekundären Spannung dar, so tritt die erste Funkenentladung in dem Momente ein, wo die zur Ueberbrückung der Funkenstrecke erforderliche Potentialdifferenz erreicht ist, Punkt A der Kurve (Entladungspotential). Bei ausreichender primärer Energiezufuhr leitet dann dieser Funken einen Lichtbogen ein,

[1]) Bei den in der elektrischen Wellentelegraphie zur Anwendung gelangenden Resonanzinduktorien ist sogar die sekundäre Funkenzahl bedeutend geringer als die primäre Wechselzahl.

[2]) Derartige Wechselströme hoher Frequenz eignen sich natürlich auch für funkentelephonische Zwecke. Fessenden berichtet neuerdings über diesbezügliche von ihm in den Jahren 1903–1904 angestellte Versuche unter Benutzung einer Wechselstromdynamo von 10000 Perioden pro Sekunde (vgl. Zeitschr. f. Schwachstromtechn. 1. S. 74 u. 93. 1907). Aehnliche Vorschläge unter Benutzung eines tönenden Lichtbogens zur Erzeugung der Funkenstrecke hoher Entladungszahl werden wir weiter unten kennen lernen. (S. 108).

der erst abreist, wenn die induzierte Spannung zur Aufrechterhaltung desselben nicht mehr ausreicht. Dieses Potential im Momente des Abreissens, Punkt B der Kurve, ist infolge der Jonisation der Funkenstrecke bedeutend geringer als das Entladungspotential. Man erhält also während jedes Wechsels eine längere Zeit anhaltende, in der Figur durch die Ordinaten A B begrenzte und schraffiert gezeichnete Lichtbogenentladung. Da während des Lichtbogen-

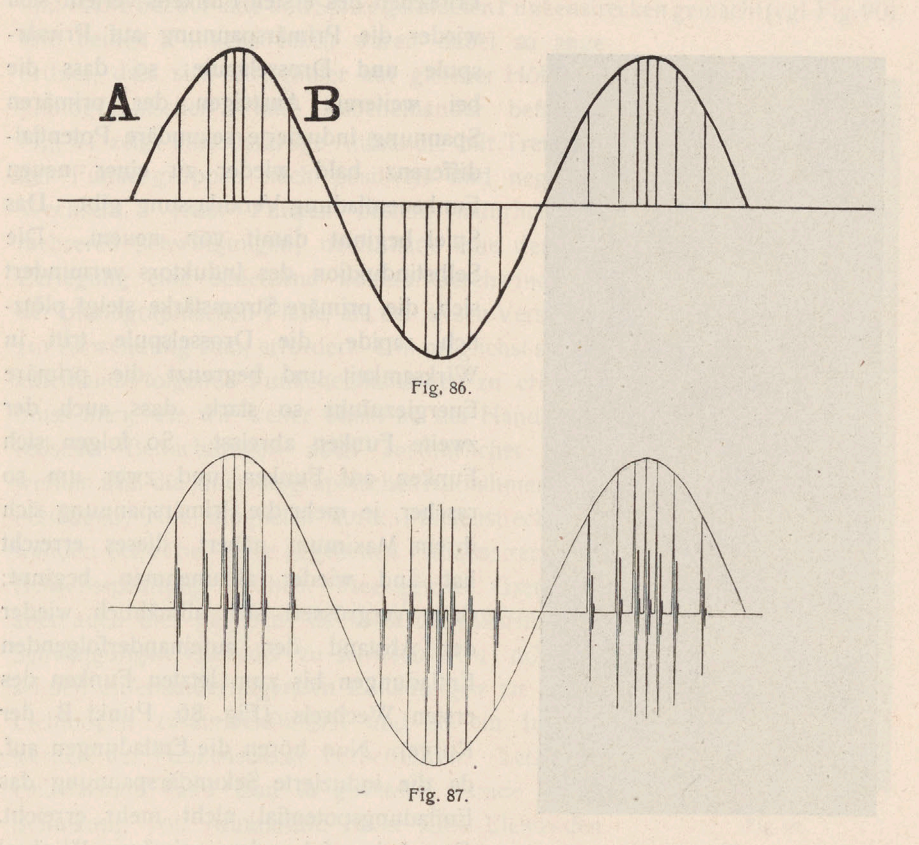


Fig. 86.

Fig. 87.

überganges eine oscillatorische Entladung nicht stattfinden kann, so treten Schwingungen, wenn auch (wegen der dann bestehenden geringen Potentialdifferenz) sehr geringer Intensität nur im Momente des Abreissens des Lichtbogens auf. Man erhält also während eines Wechsels des primären Stromes in der Tat nur e i n e sekundäre Entladung und einen Schwingungskomplex (Fig. 85). Schaltet man aber in den Speisestromkreis eine passend dimensionierte Drosselspule, die die Leistung des Induktors bezw. Transformators begrenzt, so kann man eine bedeutend grössere Anzahl sekundärer Entladungen erzielen, wenn

man das Entladungspotential verhältnismässig niedrig wählt, d. h. eine kurze Funkenstrecke anwendet.[1]) Im Momente des Ueberschlagens des ersten Funkens (Fig. 86 Punkt A der Kurve) springt nämlich dann gewissermassen die gesamte Primärspannung auf die Klemmen der Drosselspule über, so dass die Leistung des Induktors so erheblich abfällt, dass die Energie zur Aufrechterhaltung des Funkens bezw. Lichtbogens fehlt. Nach dem Erlöschen des ersten Funkens verteilt sich wieder die Primärspannung auf Primärspule und Drosselspule, so dass die bei weiterem Ansteigen der primären Spannung induzierte sekundäre Potentialdifferenz bald wieder zu einer neuen Funkenentladung Veranlassung gibt. Das Spiel beginnt damit von neuem. Die Selbstinduktion des Induktors vermindert sich, die primäre Stromstärke steigt plötzlich rapide, die Drosselspule tritt in Wirksamkeit und begrenzt die primäre Energiezufuhr so stark, dass auch der zweite Funken abreisst. So folgen sich Funken auf Funken und zwar um so rascher, je mehr die Primärspannung sich ihrem Maximum nähert, dieses erreicht hat und wieder abzunehmen beginnt; dann vergrössert sich allmählich wieder der Abstand der aufeinanderfolgenden Entladungen bis zum letzten Funken des ersten Wechsels (Fig. 86 Punkt B der Kurve). Nun hören die Entladungen auf, da die induzierte Sekundärspannung das Entladungspotential nicht mehr erreicht. Erst beim folgenden primären Wechsel tritt eine neue Serie von Funken auf.

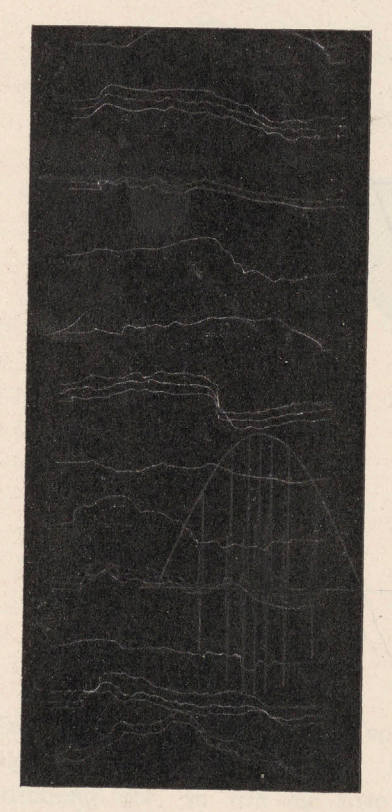


Fig. 88.

Man erhält demnach mit Hilfe der Drosselspule während jedes Wechsels eine Vielfachfunkenentladung; jede einzelne dieser aktiven Entladungen gibt zu gedämpften Schwingungen Anlass, wie in Fig. 87 schematisch dargestellt. In Fig. 88 und 89 sind zwei vom Verfasser gemachte kinematographische Aufnahmen der Vielfachfunkenentladung eines grossen Funkentransformators

[1]) Vgl. zum Folgenden auch: H. Abraham. Soc. franç. de Phys. 5. Mai 1899. Bulletin S. 70. A. Blondel. Britische Patentschrift. Nr. 21909 vom 3. Dezember 1900. J. Härden. Phys. Zeitschr. 4. S. 461. 1903 sowie F. J. Koch. Ann. d. Phys. 4. 14. S. 547-555. 1904.

wiedergegeben. Aus denselben ersieht man deutlich, dass sich während jedes Wechsels mehrere Funkenbahnen abgebildet haben und zwar in Fig. 88 bei langer Funkenstrecke etwa 2 bis 3 pro Wechsel, in Fig. 89 bei verkürzter Funkenstrecke durchschnittlich etwa 25 pro Wechsel.

Um zu zeigen, dass tatsächlich jede Funkengruppe einem Wechsel entspricht, wurden weitere Aufnahmen mit zwei parallel geschalteten, aus Spitze und Platte bezw. Platte und Spitze gebildeten Funkenstrecken gemacht (vgl. Fig. 90). Die beiden Funkenstrecken waren dabei so angeordnet, dass sich ihre Bilder auf gleicher Höhe der photographischen Platte nebeneinander befanden. Fig. 91 zeigt eine derartige Aufnahme mit Trennung der Funkengruppen nach positiven und negativen Wechseln. Jeder Funken besteht natürlich aus mehreren Schwingungen, doch hätte eine derartige Zerlegung eine bedeutend höhere Geschwindigkeit der photographischen Platte, als bei diesen Versuchen zur Anwendung kam, erfordert. Um möglichst schnell aufeinanderfolgende Funkenentladungen zu erhalten, muss man, wie wir weiter unten an der Hand theoretischer Betrachtungen noch ausführlicher sehen werden und die kinematographischen Aufnahmen auch bestätigen, eine möglichst kurze Funkenstrecke anwenden bezw. bei einer gegebenen Funkenstrecke die Betriebsspannung erhöhen. Eine gewisse Grenze ist aber auch hier gegeben, da sonst die Intensität der Schwingungen entweder zu schwach wird, oder die schnell aufeinanderfolgenden Entladungen zu einem Lichtbogen zusammenfliessen und so ein Inaktivwerden der Funkenstrecke herbeiführen. Letzterem Uebelstande kann man in gewissem Grade durch Benutzung von Aluminium- oder Zink-Elektroden (sogenannte „non-arcing-metals“) sowie nach dem Vorschlage von Tesla und Thomson durch die Anwendung eines auf die Funkenstrecke wirkenden Luft- oder Magnetgebläses, welches einen sich etwa bildenden Lichtbogen zerreisst, während der, den gewünschten oscillatorischen Ausgleich herbeiführender Funkenübergang bestehen bleibt, begegnen. Dementsprechend benutzte auch Majorana einen gegen die Funkenstrecke gerichteten Luft- oder Kohlensäurestrom, „um die Regelmässigkeit der Entladungen aufrecht zu erhalten“, wie es in dem Berichte über seine Versuche heisst.

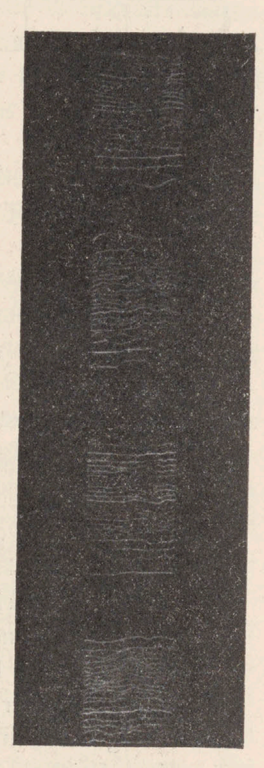


Fig. 89.

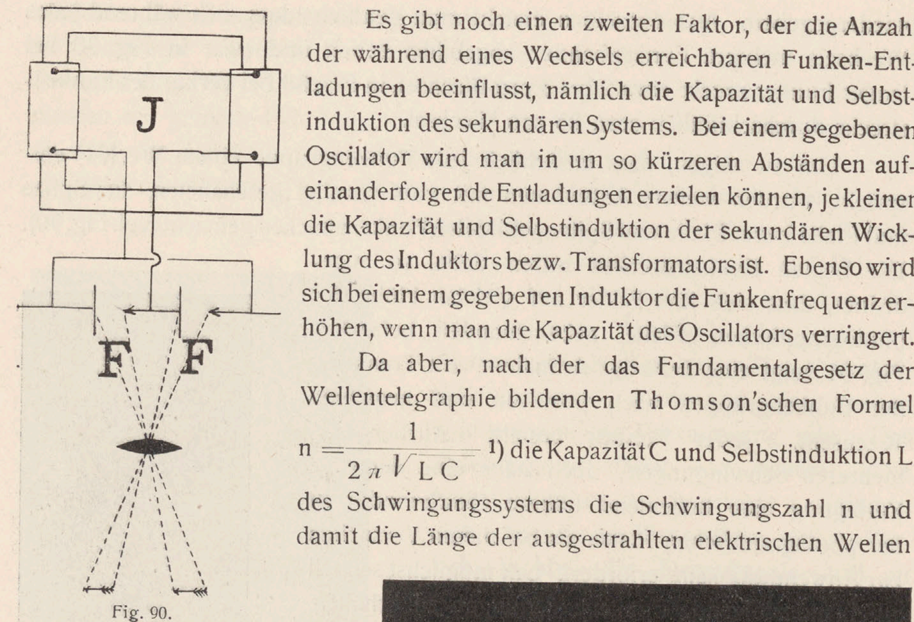


Fig. 90.

Es gibt noch einen zweiten Faktor, der die Anzahl der während eines Wechsels erreichbaren Funken-Entladungen beeinflusst, nämlich die Kapazität und Selbstinduktion des sekundären Systems. Bei einem gegebenen Oscillator wird man in um so kürzeren Abständen aufeinanderfolgende Entladungen erzielen können, je kleiner die Kapazität und Selbstinduktion der sekundären Wicklung des Induktors bezw. Transformators ist. Ebenso wird sich bei einem gegebenen Induktor die Funkenfrequenz erhöhen, wenn man die Kapazität des Oscillators verringert.

Da aber, nach der das Fundamentalgesetz der Wellentelegraphie bildenden Thomson'schen Formel $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ [1]) die Kapazität C und Selbstinduktion L des Schwingungssystems die Schwingungszahl n und damit die Länge der ausgestrahlten elektrischen Wellen $\lambda = \frac{300\,000 \text{ km}}{n}$ bestimmen, so ist im allgemeinen der Oscillator als gegeben zu betrachten und dementsprechend ein Induktor mit möglichst geringer Sekundär-Kapazität und Selbstinduktion zu wählen. Welchen Einfluss die Eigenschaften der Sekundärwicklung ausüben, möge folgendes Beispiel zeigen. Während mit dem zu den oben angeführten kinematographischen Funkenaufnahmen benutzten Funkentransformator für 35 cm Funkenlänge, dessen sekundäre Spulen infolge ihrer hohen Windungszahlen eine

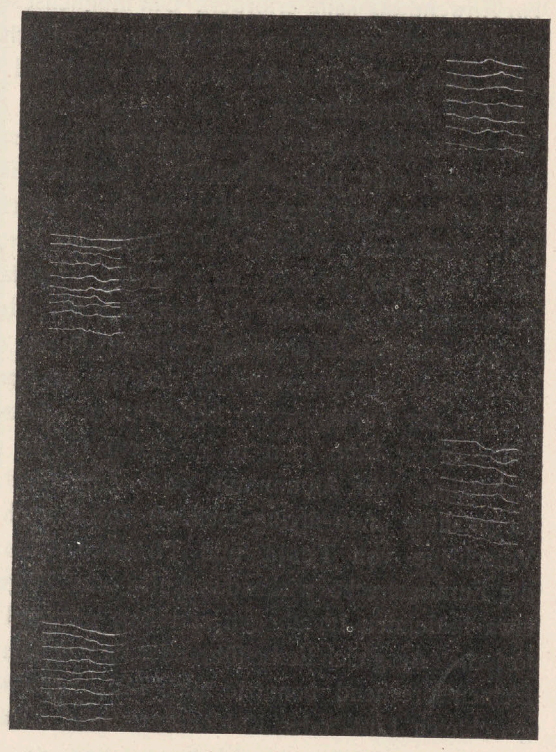


Fig. 91.

[1]) W. Thomson. Phil. Mag. (4) 5. S. 393. 1853.

beträchtliche Kapazität und Selbstinduktion besassen, höchstens 60 Funken pro Wechsel (in $\frac{1}{100}$ Sekunde) erhalten werden konnten, wurden bei Anwendung eines Wechselstromringtransformators (für ca. 3000 Volt Spannung) mit geringer sekundärer Windungszahl bis zu 200 Entladungen pro Wechsel in einem schnell rotierenden Spiegel beobachtet[1]). Nehmen wir an, dass jede Entladung aus 10 Schwingungen zu je 1/1000000 Sekunde besteht, so haben wir in 1/100 Sekunde (= 200 Entladungen) 2000 Schwingungen, die sich während 1/500 Sekunde vollziehen, oder in 1 Sekunde 200000 Schwingungen, die 1/5 Sekunde dauern. Es verhält sich jetzt also die Zeit, während welcher Schwingungen stattfinden, zur Zeitdauer der Pausen wie 1 : 4, wenn man sich die Entladungen während eines Wechsels gleichmässig verteilt denkt, was, wie wir oben gesehen haben, aber tatsächlich nicht der Fall ist.

Wir wollen an dieser Stelle noch kurz die entsprechenden Beobachtungen und Versuche einschalten, die unter Benutzung einer Quecksilberdampflampe als Vakuumfunkenstrecke angestellt wurden.

Im Gegensatz zu den gewöhnlichen Metallfunkenstrecken in Luft gestatten nämlich die Quecksilberdampflampen bei Wahl geeigneten Gasdrucks eine wesentliche Steigerung des Entladungspotentials ohne gleichzeitige Steigerung der Dämpfung der Schwingungen, so dass man wesentlich kräftigere Schwingungen erhalten kann. Ferner ist auch die Neigung zum Inactivwerden der Entladung wegen der rasch verschwindenden Leitfähigkeit des Quecksilberdampfes wesentlich geringer als bei gewöhnlichen Funkenstrecken, so dass sich die Pausen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Partialentladungen beträchtlich verkürzen lassen, ohne dass eine Lichtbogenbildung eintritt. Die „Unterbrecherwirkung" einer mit hochgespanntem Wechselstrom gespeisten Quecksilberdampflampe ist zuerst von Hewitt[2]) beobachtet worden. Eingehende Untersuchungen über diese Erscheinung stellten dann Simon und Reich[3]) und W. Pierce[4]) an.

Letzterer photographierte die Entladungen mittels schwingender Linse auf einen rotierenden Film. Das Vakuum seiner Lampe entsprach für 15 000 Volt Entladungspotential bei bester Wirksamkeit einem Druck von 0,02 mm. Bei Benutzung einer der Vakuumfunkenstrecke parallel geschalteten kleinen Leydener Flasche erhielt Pierce während eines Wechsels von 1/120 Sekunde 200 vollständige Entladungen, von denen eine jede aus mehreren Schwingungen bestand, so dass die Pausen nur etwa 1/100000 Sekunde betrugen. Jede Entladung war scharf, wohldefiniert und regelmässig und zeigte, dass selbst nach längerem Be-

---

1) Die Länge der Funkenstrecke betrug hierbei nur 0,5–1,0 mm.

2) Cooper Hewitt: Electrical Review New-York 42. Nr. 8 vom 21. Februar 1903.

3) H. Th. Simon u. M. Reich: Phys. Zeitschr. 4. S. 364–372. 1903, und H. Th. Simon: Vortrag auf der 75. Naturforscherversammlung zu Kassel am 22. September 1903. Vgl. hierzu: Phys. Zeitschr. 4. S. 737–741. 1903.

4) W. Pierce: Phys. Zeitschr. 5. S. 426–437. 1904

triebe bei dieser Funkenfrequenz die Lampe sich nicht mit leitendem Dampf füllte, wodurch das Potential aufeinander folgender Entladungen bedeutend niedriger geworden wäre.[1])

Im Vorstehenden haben wir gesehen, dass man tatsächlich mit Hilfe eines Wechselstromes normaler Frequenz eine sehr grosse Anzahl von Partialentladungen erzielen kann, von denen eine jede zu gedämpften Schwingungen Anlass gibt. Obwohl die auf diese Weise erreichbare Entladungszahl für die Uebertragung der Sprache schon ausreicht, wie auch die Majorana'schen Versuche beweisen, so besitzt doch diese Methode der Speisung der Funkenstrecke bezw. der Erregung des Luftdrahtes den Nachteil, dass zwischen je zwei Wechseln in der Nähe des Nullpunktes der Spannungskurve grössere Pausen vorhanden sind, in denen überhaupt keine Entladungen bezw. Schwingungen auftreten und dass der Abstand der dann aufeinanderfolgenden Entladungen nicht konstant ist. Die erwähnten grösseren Lücken zwischen zwei aufeinanderfolgenden Serien von Schwingungskomplexen machen sich bei der Uebertragung der Sprache sehr störend bemerkbar, wie Versuche des Verfassers, die derselbe unabhängig von Majorana im Winter 1904/1905 mit Hilfe der Vielfachfunkenentladungen des oben erwähnten Wechselstrom-Funkentransformators anstellte, und bei denen die Einwirkung der Sprache mit Hilfe eines den primären Speisestrom beeinflussenden Mikrophones erfolgte, ergaben.[2]) Die mittels eines Mikrophonkontaktes telephonisch wiedergegebene Sprache klang abgehackt und zerrissen, ähnlich wie die eines Stotterers.

Die bei Speisung der Funkenstrecke mit sinusartig verlaufendem Wechselstrom auftretenden störenden Lücken können entweder nach dem Vorschlage Blondel's durch Benutzung eines Wechselstroms von nahezu rechteckiger

---

[1]) Der Vollständigkeit wegen sei an dieser Stelle noch auf einige neuere Patente bezw. Patentanmeldungen hingewiesen, die sich auf Verfahren zur Erzeugung elektrischer Schwingungen für Zwecke der drahtlosen Telegraphie und Telephonie beziehen und die ebenfalls eine mit hochgespanntem Wechselstrom gespeiste Vakuumfunkenstrecke benutzen. Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in Berlin hat sich ein Verfahren zur Erzeugung wenig gedämpfter schneller elektrischer Schwingungen patentieren lassen (D. R. P. Nr. 160990 vom 14. April 1905), wobei ein Kondensator hoher Kapazität, dem die Aufgabe einer Pufferbatterie zufällt, der sekundären mit der Quecksilberdampflampe verbundenen Spule des Transformators parallel geschaltet ist. Die Lampe selbst bildet die Funkenstrecke eines aus Kapazität und Selbstinduktion bestehenden Schwingungskreises, der seine Energie an den Luftleiter in bekannter Weise unmittelbar oder induktiv abgibt. Um die Amplituden der einzelnen Schwingungen der Partialentladungen zu erhöhen, konzentriert Eisenstein (vgl. die deutschen Patentanmeldungen E. 11332 Klasse 21a 4 vom 5. Dezember 1905 [D. R. P. No. 182656] und E. 11475 Klasse 21a 4 vom 3. Februar 1906 [D. R. P. No. 182657], sowie die französische Patentschrift No. 368988 [17. August 1906]) die gesamte Energie des hochgespannten Wechselstromes während eines Wechsels auf einen verhältnismässig kurzen Zeitraum, indem er durch geeignete mechanische oder elektrische Mittel nur während dieses Moments den Wechselstrom mit der Vakuumfunkenstrecke in Verbindung setzt.

[2]) Das Mikrophon war bei diesen Versuchen im Nebenschluss zu einer Spule geschaltet, ähnlich wie dies Nussbaumer (Phys. Zeitschr. 5. S. 796. 1904) angibt. An Stelle der direkten Kopplung kann auch eine induktive treten (Mosler, D. R. P. No. 173690). Eine Beeinflussung der Erregung der Wechselstrommaschine ist in der bereits oben angeführten Mosler'schen Anmeldung M. 26653 Klasse 21a 4 vom 24. Dezember 1904 enthalten.

Kurvenform[1]) (Fig. 92) oder nach einem von Eisenstein angegebenen Sendersystem für drahtlose Telegraphie und Telephonie durch Anwendung eines Mehrphasenstromes z. B. eines Drehstromes anstelle des einphasigen Wechselstromes

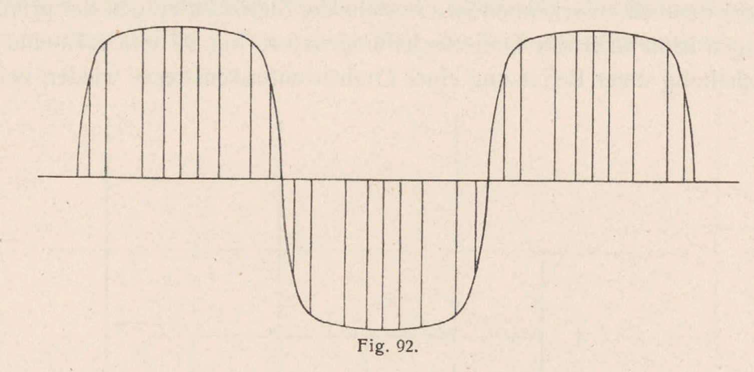


Fig. 92.

ausgefüllt werden[2]). Wie aus der schematischen Darstellung in Fig. 93 deutlich hervorgeht, lassen sich durch entsprechende Einstellung der Funkenstrecken die Entladungskomplexe während jeder Phase so begrenzen, dass sich die Komplexe aufeinanderfolgender Phasen unmittelbar ohne Zwischenraum aneinander reihen bezw. sich sogar zum Teil decken, so dass ein ständig erregter Sender erhalten

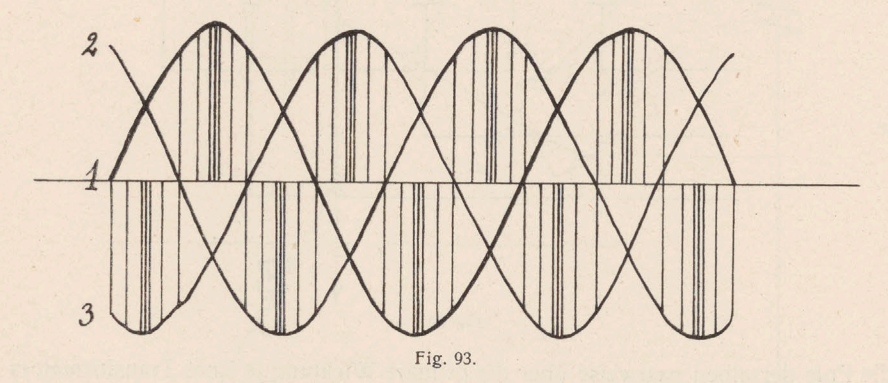


Fig. 93.

wird. Die einfachste derartige Schaltung zeigt Fig. 94. Das Sendergebilde ist dreiteilig. Jede der Funkenstrecken F ist mit einem Transformator J verbunden, deren primäre Spulen in Sternschaltung angeordnet sind. Bei dieser Anordnung wird also je ein Teil des Sendergebildes für eine Phase des zur Anwendung kommenden Drehstromes bezw. Mehrphasenstromes in Benutzung genommen. Eine Schaltung mit nur einem Luftdraht ist in Fig. 95 dargestellt. Die drei

[1]) vgl. D. R. P. No. 159330 vom 17. August 1902 und Englische Patentschrift Nr. 15527 1902 vom 11. Juli 1902.

[2]) vgl. D. R. P. No. 175438 vom 9. Juli 1905 und D. R. P. No. 176011 vom 1. Februar 1906.

Schwingungskreise besitzen eine gemeinsame im Sender selbst angeordnete Selbstinduktion, wie auch bei der in Fig. 96 abgebildeten Eisenstein'schen Apparatenanordnung (Leydener Flaschen-Batterie und Funkenstrecken mit Ventilator) deutlich zu erkennen ist. Anstelle der Sternschaltungen der primären Wicklungen kann auch eine Dreieckschaltung treten. Fig. 97 gibt z. B. eine derartige Schaltung unter Benutzung einer Drehstromfunkenstrecke wieder, bei der

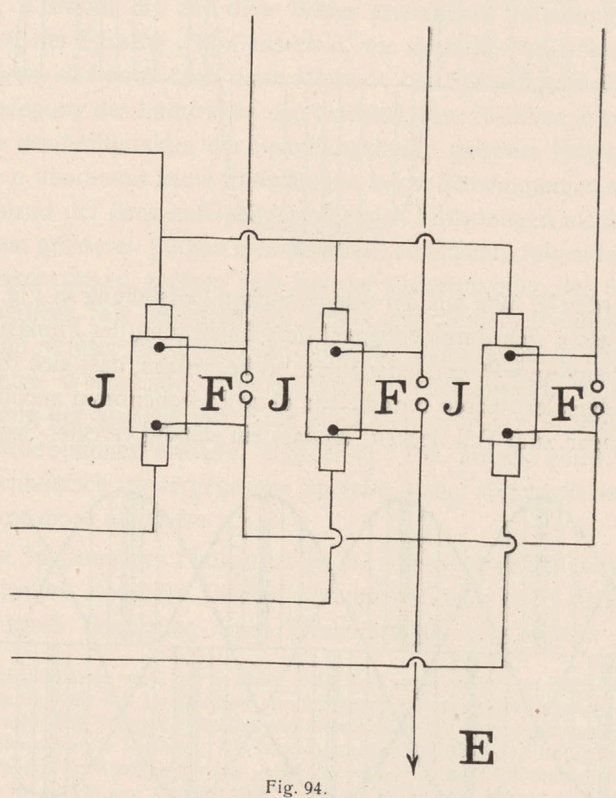


Fig. 94.

die Pole derselben paarweise über die primäre Wicklung je eines Transformators verbunden sind, wobei zweckmässig in jeder dieser Verbindungen eine Kapazität liegt, während die sekundären Wicklungen aller Transformatoren in Reihe mit dem geerdeten Luftleiter geschaltet sind [1]). In dem letzteren kommen somit die in den einzelnen, aus zwei Polen der Funkenstrecke, einem Kondensator und einer primären Wicklung des Transformators bestehenden Schwingungskreisen gemeinsam zur Geltung. Die Wirksamkeit der Funkenstrecke wird also nach allen Polen hin durchaus gleichmässig sein müssen, so dass in jedem Schwingungs-

[1]) Ueber die Benutzung einer Drehstromfunkenstrecke bei Sendern für drahtlose Telephonie, vgl. auch H. Mosler, Patentanmeldung M. 27435 Klasse 21 a vom 4. Mai 1905.

kreis die gleiche Intensität und die gleiche Frequenz herrscht, wobei die Aufeinanderfolge der Entladungen zwischen je zwei Polen der Funkenstrecke genau der Phasenfolge des Drehstromes entspricht. Somit werden vom Luftleiter stets nur Wellen einer bestimmten Wellenlänge ausgestrahlt, gleichgiltig, um welche Phase oder um welche Entladung der Pole der Drehstromfunkenstrecke es sich

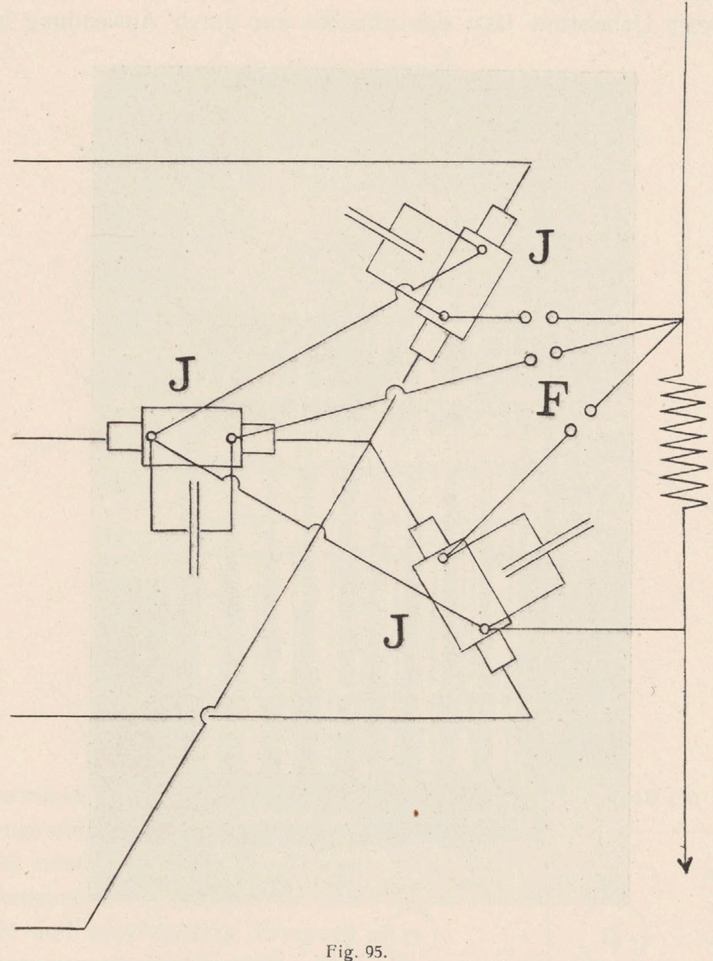


Fig. 95.

handelt. Auf diese Weise wird in der Tat ein dauernd erregter Sender gleichbleibender Wellenlänge verwirklicht.

An Stelle der Drehstromfunkenstrecke können auch einzelne sternartig verbundene Funkenstrecken zur Anwendung gelangen, die zusammen mit Kapazitäten in Dreieckschaltung angeordnet sind.

Wenn auch bei dem im Vorhergehenden angeführten Eisenstein'schen Sendersystem keine grösseren Pausen zwischen den einzelnen Entladungskomplexen auftreten und eine ständige Erregung des Senders erzielt wird, so bleibt doch die Inkonstanz der Abstände der aufeinander folgenden Partialentladungen bestehen, die, wie wir gesehen haben, sich um so rascher folgen, je höher die Speisespannung ansteigt.

Dieser Uebelstand lässt sich offenbar nur durch Anwendung hochge-

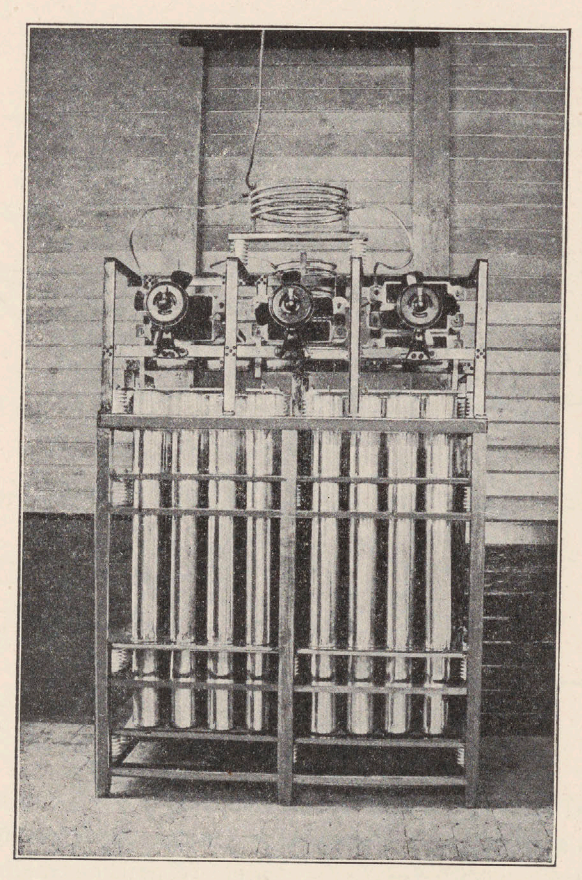


Fig. 96.

spannten Gleichstromes zur Speisung der Funkenstrecke vermeiden.

Eingehende Versuche mit einem derartig unter Benutzung eines Braunschen Schwingungskreises erregten Sender sind von Simon und Reich angestellt worden.[1])

[1]) H. Th. Simon u. M. Reich: Phys. Zeitschr. 4. S. 364. 1903, und H. Th. Simon: Vortrag auf der 75. Naturforscher-Versammlung zu Kassel am 22. September 1903. Phys. Zeitschr. 4. S. 737. 1903.

Sie benutzten als Stromquelle eine Hochspannungs-Dynamomaschine[1]) bezw. Batterie von 5000 Volt. In die Zuführung zur Leydener Flasche wurde

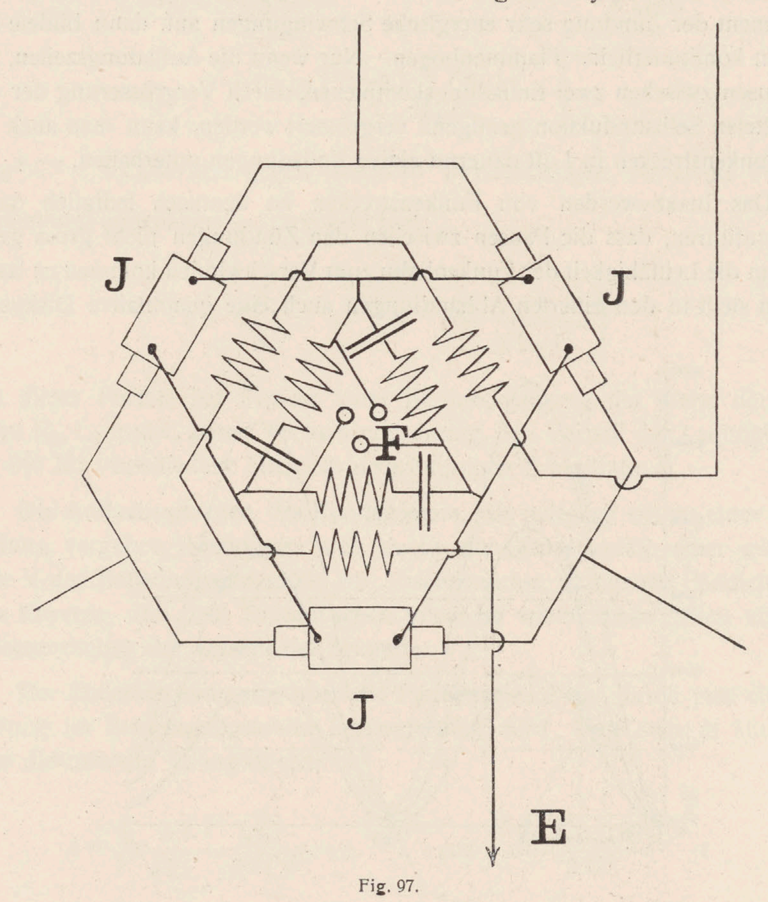


Fig. 97.

als Selbstinduktion die Sekundärspule eines Induktoriums von 40 cm Funkenlänge eingeschaltet.

Mit einer Quecksilberdampflampe als Funkenstrecke, wurde in der Tat eine dauernde und gleichmässige Erregung des Schwingungskreises erzielt[2]). Die Anzahl der Zündungen nahm, (wie beim Wechselstrom) mit der Spannung der

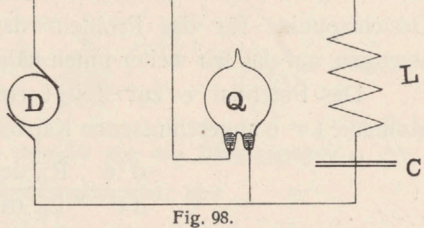


Fig. 98.

[1]) Diese Maschine (20 PS.) wurde von Schuckert u. Co. in Nürnberg geliefert. Modell Z. H. 20. 5000 Volt 3 Ampère.

[2]) Vgl. D. R. P. No. 153792 vom 18. Januar 1903 betreffend Verfahren zur Erzeugung elektrischer Schwingungen für Zwecke der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.

Maschine zu, blieb dagegen bei unveränderter Spannung derselben konstant. Wurde die Lampe durch eine gewöhnliche Funkenstrecke ersetzt, so traten wohl im Moment der Zündung sehr energische Schwingungen auf, dann bildete sich aber ein kontinuierlicher Flammenbogen. Nur wenn die Aufladungszeiten, also die Pausen zwischen zwei Entladungskomplexen, durch Vergrösserung der vorgeschalteten Selbstinduktion genügend vergrössert werden, kann man auch mit Metallfunkenstrecken in Luft dauernd aktive Entladungen unterhalten.

Das Inaktivwerden von Funkenstrecken ist demnach lediglich darauf zurückzuführen, dass die Pausen zwischen den Zündungen nicht gross genug sind, um die Leitfähigkeit der Funkenbahn zum Verschwinden kommen zu lassen. Simon stellt in den zitierten Abhandlungen auch eine quantitative Diskussion

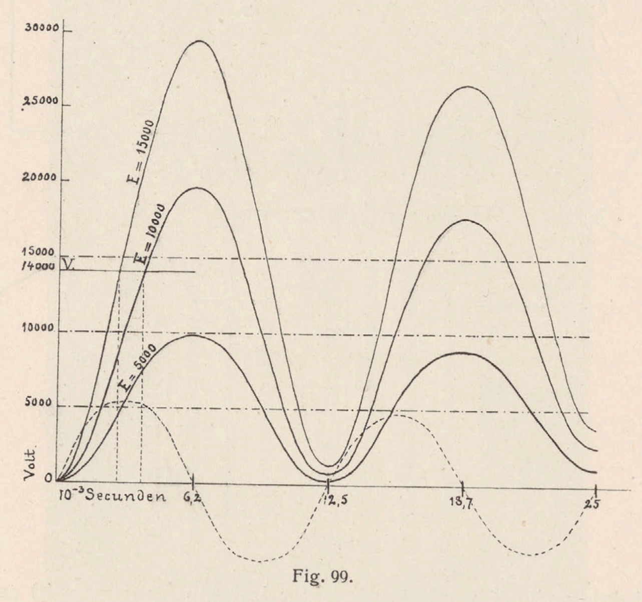


Fig. 99.

an, die seine Versuchsresultate mit aller Strenge wiedergibt und auch exakte Gesichtspunkte für das Problem dauernd ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen, auf das wir weiter unten näher eingehen werden, liefert.

Das Potential e zur Zeit t einer an eine Gleichstromspannung E im Momente t = o angeschlossenen Kapazität C wird durch die Differentialgleichung

$$\frac{d^2e}{dt^2} + \frac{R_0}{L_0}\frac{de}{dt} + \frac{e}{L_0 C} = \frac{E}{L_0}$$

bestimmt, wo R_0 den Widerstand und L_0 die Selbstinduktion des Stromkreises bezeichnet. Das Integral dieser Gleichung unter Berücksichtigung der Grenzbedingungen ergiebt sich zu:

$$e = E - \frac{2E\sqrt{L_0 C}}{\sqrt{4 L_0 C - R_0^2 C^2}} \cdot \varepsilon^{-\frac{R_0}{2 L_0} t} \cdot \sin \left\{ \frac{\sqrt{4 L_0 C - R_0^2 C^2}}{2 L_0 C} t + \operatorname{arc\,tg} \frac{\sqrt{4 L_0 C - R_0^2 C^2}}{R_0 C} \right\}$$

Ist $R_0^2 C^2 < 4 L_0 C$ und gegen dieses zu vernachlässigen, ferner die Phasenverschiebung angenähert $\frac{\pi}{2}$, so ergibt sich

$$e = E \left(1 - \varepsilon^{-\frac{R_0}{2 L_0} t} \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{L_0 C}} \right)$$

Nach dieser Formel hat Simon unter Berücksichtigung der Werte der Konstanten R_0, L_0 und C seiner Versuchsanordnung, den Verlauf der Ladungskurve (Fig. 99) für verschiedene Gleichstromspannungen E bestimmt.[1])

Die Aufladungszeiten des Kondensators, die jedesmal bis zu einer neuen Zündung vergehen, bestimmen sich durch die Schnittpunkte einer mit dem Werte V des Entladungspotentials zur Abscissenachse gezogenen Parallelen mit den e-Kurven. Bei dem Simon'schen Versuche waren diese Zeiten von der Grössenordnung der tausendstel Sekunde.

Der Entladungsvorgang über die Funkenstrecke, der durch jede einzelne Zündung im Schwingungskreise hervorgerufen wird, lässt sich in ähnlicher Weise diskutieren. Es ergibt sich:

$$e = \frac{2 E \sqrt{L C}}{\sqrt{4 LC - R^2 C^2}} \cdot \varepsilon^{-\frac{R}{2L} t} \cdot \cos \cdot \frac{\sqrt{4 LC - R^2 C^2}}{2 LC} t$$

wobei R den Widerstand und L die Selbstinduktion des Schwingungskreises bezeichnen.

---

[1]) Die entsprechende Stromstärke ergibt sich zu $i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L_0}{C}}} \varepsilon^{-\frac{R_0}{L_0} t} \sin \frac{t}{\sqrt{L_0 C}}$ und ist in der Figur 99 punktiert eingezeichnet; während also, abgesehen von dem Dämpfungsfaktor $\varepsilon^{-\frac{R_0}{L_0} t}$ e für $t = o$, $2 \pi \sqrt{L_0 C}$, $4 \pi \sqrt{L_0 C} = o$ und niemals negativ wird, wird i für $t = o$, $\pi \sqrt{L_0 C}$, $2 \pi \sqrt{L_0 C}$ usw. $= o$ und schwankt zwischen positiven und negativen Werten hin und her. Der Grenzwert von e ist 2 E, von $i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L_0}{C}}}$

Unter derselben Voraussetzung wie oben, d. h. dass $R^2 C^2$ klein gegen 4 LC und gegen dieses zu vernachlässigen ist[1]), erhalten wir

$$e = E \cdot \varepsilon^{-\frac{R}{2L} t} \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{LC}}$$

d. h. eine gedämpfte Schwingung mit der Periodenzeit oder Schwingungsdauer

$$T = 2 \pi \sqrt{CL} = \frac{1}{n} \text{ (Thomson'sche Formel).}$$

wo n die Schwingungszahl bezeichnet. Die Dämpfung wird durch den Faktor $\varepsilon^{-\frac{R}{2L} t}$ bestimmt. („Logarithmisches Dekrement" $\lambda = \frac{R}{2L} T = \frac{R}{2Ln}$.)

Die Schwingungsdauer dieser nach jeder Zündung im Schwingungskreis ablaufenden gedämpften Oszillationen ist, da R und L sehr viel kleiner sind als R_0 und L_0, natürlich bedeutend kürzer als jene bei der Ladung. Sie betrug bei den Simon'schen Versuchen etwa ein hunderttausendstel bis ein millionstel Sekunde.

Die Dämpfung, insbesondere bei Betätigung eines Braun'schen Strahlsystems ist, wie M. Wien[2]) gezeigt hat, ziemlich beträchtlich.

Nimmt man 10 ganze Schwingungen als obere Grenze bis zum Abklingen auf ein Potential, bei dem die Leitfähigkeit des Flammenbogens nicht mehr bestehen kann, an, so würde sich jeder Entladungsvorgang bei den Simon'schen Versuchen längstens innerhalb ein zehntausendstel bis ein hunderttausendstel Sekunde abgespielt haben, also in Zeiten, die gegen die Ladungszeiten klein sind.

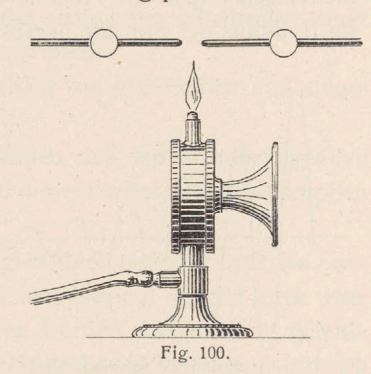
Aus der oben angeführten Formel für den Verlauf der Ladungsspannung ergibt sich auch theoretisch die Tatsache, die wir bereits vorhin bei den Vielfachfunkenentladungen eines Wechselstromtransformators kennen gelernt haben, dass für eine gegebene Ladungskapazität die Pausen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Entladungskomplexen um so kürzer werden, je grösser das Potential der Ladungsstromquelle E und je kleiner das Entladungspotential V ist; für ein gegebenes Betriebspotential E um so kürzer, je niedriger das Entladungspotential V und je kleiner die Ladungskapazität C ist; endlich für ein gegebenes Entladungspotential, je kleiner die Ladungskapazität C und je grösser die Betriebsspannung E ist. Bei Wechselstrombetrieb erhält man wie wir auch schon wissen, dem wechselnden Betriebspotential entsprechend bei konstanter Ladungskapazität und konstantem Entladungspotential periodisch zu- und abnehmende Pausen zwischen den Zündungen. —

[1]) Ist diese Bedingung nicht erfüllt, wie z. B. bei Anwendung sehr langer Funkenstrecken, so verläuft die Entladung aperiodisch.

[2]) M. Wien. Ann. d. Phys. 8. 686. 1902.

Bemerkenswert ist endlich noch, dass nicht einmal die stationäre Spannung der Maschine unter allen Umständen das Entladungspotential zu erreichen braucht, da infolge der periodischen Ladung der Kapazität die Ladungskurve im ersten Aste fast die doppelte Erregerspannung erreicht. (Vgl. Seite 91 Fussnote).

Das im Vorhergehenden über die nach dem Prinzipe der Partialentladungen erzeugten elektrischen Schwingungen bezw. Wellen Angeführte lässt sich folgendermassen kurz zusammen fassen: Man kann mittels hochgespannten Gleichstroms bei gegebenem Entladungspotential und gegebener Ladungskapazität durch Steigerung der Betriebsspannung, sowie durch richtige Wahl der Konstanten des Ladungskreises die Pausen zwischen den in gleichen Abständen aufeinanderfolgenden Entladungskomplexen wesentlich abkürzen. Diese Abkürzung ist aber begrenzt durch die Bedingung, dass die zu einem Schwingungskomplex gehörigen Schwingungen, bereits auf einen sehr geringen Stromwert abgeklungen sein müssen, ehe der neue Ladungsprozess wesentlich vorgeschritten ist. Sonst hat die Funkenstrecke, (als welche sich eine Quecksilberdampflampe vorzüglich eignet), ihre Leitfähigkeit noch nicht verloren und man erhält einen inaktiven Flammenbogen, der höchstens zu einem Wogen des Flammenbogenstromes in engen Potentialgrenzen, wie beim Duddell-Phänomen, das wir noch kennen lernen werden, Veranlassung geben kann. – Ohne Zweifel eignen sich derartige Wellenerreger, die in der Zeiteinheit eine sehr grosse Anzahl von Zügen gedämpfter Wellen in den Raum zu entsenden gestatten, für die Zwecke der Funkentelephonie, wie wir diese spezielle Art der elektrischen Wellentelephonie treffend bezeichnen können, schon recht gut, wenn auch derartige Versuche (abgesehen von jenen Majorana's mit hochgespanntem Wechselstrom) nicht bekannt geworden sind [1]).


Fig. 100.

Die Sprachbeeinflussung würde, wie wir bereits wissen, durch Aenderung der Intensität oder Frequenz der im Sender erzeugten Schwingungen bezw. der Intensität oder Wellenlänge der vom Luftdraht ausgestrahlten Wellen nach einer der oben beschriebenen Weisen, sei es durch Einwirkung auf den primären Speisestromkreis, den sekundären Schwingungskreis oder endlich auf den Luft-

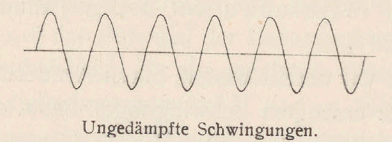
[1]) R. A. Fessenden berichtet neuerdings über derartige von ihm in den Jahren 1900–1904 angestellte Versuche. Unter anderem wurde eine rotierende mit Gleichstrom von 5000 Volt Spannung gespeiste Funkenstrecke benutzt, welche bei 500 Umdrehungen in der Sekunde 20000 Funken lieferte. Zwar gelang eine Uebertragung der Sprache, doch war das durch die Funken veranlasste Nebengeräusch unerträglich. (Zeitschr. f. Schwachstromtechn. 1. S. 72, 93 und 114. 1907.)

leiter selbst zu erfolgen haben. An Stelle dieser Beeinflussung oder Ueberlagerung kann auch eine der Sprache entsprechende Auslösung der Schwingungen bezw. Wellen treten. Der Sender wird dann nicht ständig, wie bei den bisher beschriebenen Methoden, sondern nur im Rythmus der Sprache erregt, sodass im Ruhezustande überhaupt keine Wellen ausgesandt werden.

Als Beispiel sei eine von Blondel angegebene Anordnung[1]) angeführt, bei der die Speiseleitung des Schwingungssystems (oder auch letzteres selbst) durch eine mit einer manometrischen Flamme verbundene Funkenstrecke unterbrochen ist. Die in Fig. 100 dargestellte Entladungsvorrichtung wird dabei so eingestellt, dass bei normal brennender Flamme die Spannung der Ladestromquelle des Kondensators (hochgespannter Wechselstrom rechteckiger Kurvenform oder hochgespannter Gleichstrom) nicht ausreicht um die Funkenstrecke zu überbrücken; erst wenn beim Sprechen gegen die Membrane der manometrischen Kapsel die Flamme vibriert und den Widerstand der Funkenstrecke im Rythmus der Sprache herabsetzt, erfolgen Ladungen des Kondensators und somit eine Erregung des Schwingungskreises. Infolge des undulierenden Widerstandes der Funkenstrecke ändert sich auch bei dieser Methode die Intensität bezw. Frequenz der Schwingungen genau den auf die Membrane der manometrischen Kapsel auftreffenden Schallwellen entsprechend.

Gedämpfte Schwingungen.

Fig. 101.



Ungedämpfte Schwingungen.

Fig. 102.

Beim Empfänger können ebenfalls die schon zu Anfang dieses Abschnittes erwähnten Detektoren (Mikrophon-Kontakt, elektrolytische Zelle, Magnetdetektor usw.) zur Anwendung gelangen, die in der bei elektrischer Wellentelegraphie üblichen Weise mit dem Luftleiter bezw. Schwingungskreis und einem ein Telephon enthaltenden Lokalstromkreis zusammengeschaltet werden; auch sei der Vorschläge gedacht, die im Empfangsluftdraht auftretenden undulierenden Schwingungen direkt auf eine Membrane einwirken zu lassen. Besteht letztere aus Metall und befindet sich einem aus wenigen Windungen bestehenden, mit dem Luftdraht in Serie geschalteten

[1]) Vgl. Englische Patentschrift Nr. 15527 vom 11. Juli 1902 und D. R. P. 160880 vom 17. August 1902.

Solenoid gegenüber, so wird dieselbe infolge der in ihr hervorgerufenen Foucaultströme elektromagnetisch betätigt[1]). — Zur Abstimmung auf eine bestimmte Frequenz kann mit dem Solenoid ein Kondensator in Serie oder parallel geschaltet werden.

Während die im Vorhergehenden angeführten, auf den Arbeiten von Feddersen und Hertz beruhenden Methoden der Erzeugung elektrischer Schwingungen durch langsames Aufladen der Kapazität bis zur Erreichung des Funkenpotentials, durch dann erfolgende gedämpfte oszillatorische Entladung (mit der Periode $T = 2\pi\sqrt{LC}$) in einem gegen die Zeit des Aufladens sehr kurzen Zeitraum, darauf folgendes Nichtleitendwerden der Funkenstrecke, und Wiederholung dieses Spiels gekennzeichnet sind, und also immer nur von Pausen unterbrochene Züge gedämpfter Wellen liefern, zu vergleichen mit den durch das Geknatter eines Maschinengewehres hervorgerufenen Schallwellen[2]), war für die elektrische Wellentelephonie ein weiterer Fortschritt prinzipieller Art nur durch die Verwendung einer Methode möglich, die dauernd und ungedämpfte Schwingungen bezw. Wellen zu erzeugen gestattet, analog den Schallwellen einer von einem stetigen Luftstrome angeblasenen Orgelpfeife.

In Fig. 101 und Fig. 102 ist der Unterschied von gedämpften und ungedämpften Schwingungen schematisch dargestellt.

Während bei den ersteren die Amplituden der aufeinanderfolgenden Schwingungen eines Komplexes abnehmen, sind dieselben bei den ungedämpften Schwingungen konstant.

An Versuchen, derartige Schwingungen gleichbleibender Amplitude oder hochfrequente Wechsel bezw. Wellenströme[3]) herzustellen, welche auch eine äusserst scharfe Abstimmbarkeit erreichen lassen würden, hat es nicht gefehlt.

Zunächst suchte man das Problem rein elektrotechnisch durch Konstruktion von Hochfrequenz-Wechselstrom-Dynamos zu lösen.

Nicola Tesla war der erste, welcher Hochfrequenzgeneratoren konstruiert und in seinem Werk, „Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz“ (Halle 1895) beschrieben hat.

Im Nachstehenden sei nach einer von Herrn Joh. Rautenkrantz gegebenen Zusammenstellung der in dem weiteren Verlaufe der Jahre gebauten Maschinen eine kurze Uebersicht über die bisher in dieser Richtung erreichten Resultate wiedergegeben[4]).

---

[1]) Vgl. Fessenden, Amerikanische Patentschrift Nr. 706747 vom 28. September 1901 und D. R. P. Nr. 171535 vom 13. August 1902. Ferner: Blondel, Englische Patentschrift Nr. 15527 vom 11. Juli 1902.

[2]) M. Wien. Ann. d. Phys. 4. 425. 1901 führt eine ähnliche Analogie an: „Man konnte in elektrischer Hinsicht das leisten, was ein alle 24 Stunden geöffnetes Thermometerfutteral akustisch repräsentiert.“

[3]) Ueber Wellenströme und Wellenstromerreger im allgemeinen vgl. C. Heinke. Handbuch der Elektrotechnik Bd. I, S. 43—55. 1904.

[4]) Annalen der Elektrotechnik. 1. S. 617—620. 1906.

Hochfrequenz-Generatoren

Konstrukteur bezw. Erbauer	Type	Tourenzahl pro Min.	Umfangsgeschwindigkeit m pro Sek.	Frequenz	Leistung	Literatur
Nicola Tesla	Wechselpolmaschine m. 384 Aussenpolen. Feld- und Ankerwicklung in Zick-Zack-Form. Anker aus Eisendraht	1 600	209	5 100	100 Volt 10 Amp.	The Electr. Engineer New-York. 11. S. 338 1889
Nicola Tesla	Gleichpolmaschine (Ferranti) mit rotierender Ankerwicklung zwischen den je 480 Pol-Vorsprüngen der stationär. Feldmagneten Der Anker ist auf einer Scheibe mit zick-zackförmigen Einschnitten aufgewickelt	2 500	?	15 000	?	The Electr. Engineer New-York. 18. März 1891
Elihu Thomson (Mechanical Laboratory of Thomson Houston Electric Co.)	Zwei feststehende Feldspulen i. Eisenrahmen, umgeben vom drehenden Anker. 50 Pole gleich 50 Wechsel pro Umdrehung	5 000	150	4 165	1000 Volt 1 Amp.	
C. P. Steinmetz The General Electric Co.)	Bewegter Einphasenank.	3 750	310	10 000	100 Volt 20 Amp.	
Lodge, Birmingham (C. A. Parsons u. Co.)	Bewegliches Feld mit radialen Polen. Die Ankerspulen sind auf den nach innen zeigenden Zähnen eines unterteilten Ringes gewickelt	6 000	250	3 000	112 Volt 3,2 Amp.	
Sir. D. Salomons (Pyke and Harris).	Feld und Anker, beide in entgegengesetzt. Richtung rotierend. Jederseits 174 Polpaare	1 500	79	8 700	200 Volt 1 Amp.	The Journal of Electr. Engineers, London. 21. S. 709. 1892
Ewing, Cambridge (C. A. Parsons u. Co.)	Scheibenförmiger durch Dampfturbine angetriebener Feldmagnet	12 000	600	14 000	100 Volt 5 Amp.	The Electrician 30. S. 65. 1892
Central Technical-College, London	Induktortype. 2 Maschin., einmal Magnetrad mit 30 Zähnen, einmal mit 204 Zähnen	30 000 33 400	310 366	15 000 120000	22 Volt 0,25 Amp. 2 Volt 0,1 Amp.	
K. E. F. Schmidt, Halle (Elektr. A.-G. vorm. Schuckert u. Co., Nürnberg. 1906	Rotierendes zweiteiliges Magnetrad mit je 120 nach innen zeigenden Polvorsprüngen, zwischen denen die zickzackförmige Wicklung des feststehenden Induktionsankers liegt	2 600	76	5 200	bei 10 Amp. Erregung und Parallelschaltung der 3 Ankerteile b. 10 Volt 20 Amp., bei Serienschaltung 32 Volt 5,5 Amp.	Ann. der Phys. 14. S. 22. 1906

Hochfrequenz-Generatoren

Konstrukteur bezw. Erbauer	Type	Tourenzahl pro Minute	Umfangsgeschwindigkeit m pro Sek.	Frequenz	Leistung	Literatur
M. Wien, Aachen	Wechselstrom-Sirene. Rotierendes Magnetrad. Feststehender Induktionsanker mit 2 Spulen	2040	185	8500	20 Volt 0,2 Amp.	Wied. Ann. Bd. 4. S. 425. 1901
F. Dolezalek (Siemens u. Halske)	Induktortype. Feststehender durch Gleichstrom erregt. Hufeisenmagnet, in dem durch ein vorbeirotierendes, stark unterteiltes und zahnradartiges Magnetrad magnetische Schwankung. erzeugt werden. Auf den zugespitzten Polschuhen befinden sich Spulen, in denen der Wechselstrom induziert wird	?	?	10000	15 Watt	Nachrichten von Siemens und Halske vom 28. Januar 1904 und E. T. Z. 26 S. 390. 1905
M. Leblanc (The Westinghouse Co.)	Induktortype. Magnetrad mit 200 Polen	3000	327	10000	2000 Watt	The American Institute of Electrical Engineers 1904. S. 405 u. S. 416
Thury Genf	Induktortype. Magnetrad	3000	?	10000	200 Volt 8 Amp.	Éclair. Électr. 1904. S. 65
E. Ruhmer	Induktortype. Magnetrad mit äusserst kurzer telegraphonisch hergestellter Polfolge	6000	300	300000	$<$ 0,001 Watt	Mechaniker 12. S. 195. 1904, u. D. R. P. No. 169628
W. Duddell	Induktortype. Magnetrad von 6 cm Durchmesser aus unterteiltem Eisen mit 30 Zähnen, rotiert konzentrisch in einem Magnetring mit 2 nach innen zeigend. spitzen Polschuhen. (Luftspalt 1/10 mm.) Auf dem Magnetring befindet sich die induzierende und die induzierte Spule	60000	188	120000	2 Volt 0,1 Amp.	Phil. Mag. 9. S. 299 1905
F. Turretini-Genf	?	?	?	?	?	Nähere Angaben fehlen noch.

Wie man aus der vorstehenden Zusammenstellung ersieht, ist es bereits gelungen auf maschinellem Wege Wechselströme mit Frequenzen, die den bei der elektrischen Wellentelegraphie bezw. Wellentelephonie gebräuchlichen nahe kommen, zu erzeugen, allein die bisher in Schwingungen umgesetzte Energie ist noch ausserordentlich gering.

Hat doch z. B. M. Wien[1]) die Leistung, die durch die Strahlung einer Entladung eines in der üblichen Weise erregten Braun'schen eng gekoppelten Systems repräsentiert wird, auf 1955 P. S. geschätzt. Wenn nun auch durch die Wirkung der bei solchen rein sinusartig verlaufenden Wechselströmen hoher Frequenz auftretenden ausserordentlich scharfen Resonanz eine bedeutende Veringerung der Leistungsfähigkeit des mit ungedämpften Schwingungen arbeitenden Senders gegenüber den mit gedämpften Schwingungen statthaft ist, ohne dass die Intensität im Empfänger geschwächt wird, so müssen doch noch in der Konstruktion der Hochfrequenz-Wechselstrom-Dynamos gewaltige Fortschritte gemacht werden, ehe solche für die wellentelegraphische bezw. -telephonische Praxis angewendet werden können.

Ohne Zweifel werden sich aber im Laufe der Zeit die bestehenden Schwierigkeiten überwinden lassen, und besitzt nach Ansicht des Verfassers diese, oder vielleicht eine andere Methode der maschinellen Erzeugung elektrischer Schwingungen ohne Benutzung der oscillatorischen Kondensatorentladung sowohl für wellentelegraphische als auch insbesondere für wellentelephonische Zwecke eine überaus aussichtsreiche Zukunft[2]).

Die von der Hochfrequenzmaschine gelieferten Ströme werden in bekannter Weise zur Erregung des Luftdrahtes benutzt, wobei im allgemeinen eine starke Koppelung beider Systeme vorzuziehen sein wird. Durch passende Wahl der Selbstinduktion und der Kapazität, geeignetenfalls unter Anwendung einer Hilfskapazität, wird man auch im Maschinenstromkreise die Bedingungen der Resonanz erfüllen können[3]).

Für diese muss, wie aus der Wechselstromtechnik bekannt:

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C}}{R} = o, \text{ d. h. } 2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C} = o$$

$$\text{oder } n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ sein.}$$

(Aufgedrückte Periodenzahl = natürliche Eigenschwingung des Systems.)

---

[1]) M. Wien. Ann. d. Phys. 8. 686. 1902.

[2]) Ueber eine von Fessenden konstruierte Kondensator-Dynamo siehe: Zeitschr. f. Schwachstromtechn. 1. S. 114. 1907; ferner sei an dieser Stelle hingewiesen auf einen von R. Ruedenberg im D. R. P. No. 179954 vom 22. Oktober 1905 gemachten Vorschlag.

[3]) vgl. auch: Britische Patentschrift No. 17708 vom Jahre 1902 und Erich Vossnack. D. R. P. No. 184385 vom 29. November 1905.

Die hierher gehörenden Vorschläge **wellentelephonischer** Sendeanordnungen unterscheiden sich also den vorstehenden Ausführungen gemäss prinzipiell von den bisher betrachteten **funkentelephonischen** durch den Fortfall der Funkenstrecke des Schwingungskreises.

Die Sprachbeeinflussung kann natürlich in gleicher Weise, wie wir dies bereits bei jenen Methoden ausführlicher kennen gelernt haben, erfolgen und dementsprechend entweder auf einer Aenderung der Intensität bezw. der Frequenz der elektrischen Schwingungen beruhen.

Beide Gruppen von Methoden haben die Aussendung der Sprache entsprechend undulierender elektrischer Wellen, das eine Mal mit unveränderlicher, das andere Mal mit veränderlicher Frequenz zur Folge, die dann auf der Empfangsstation ein mit einem auf Intensitätsschwankungen ansprechenden

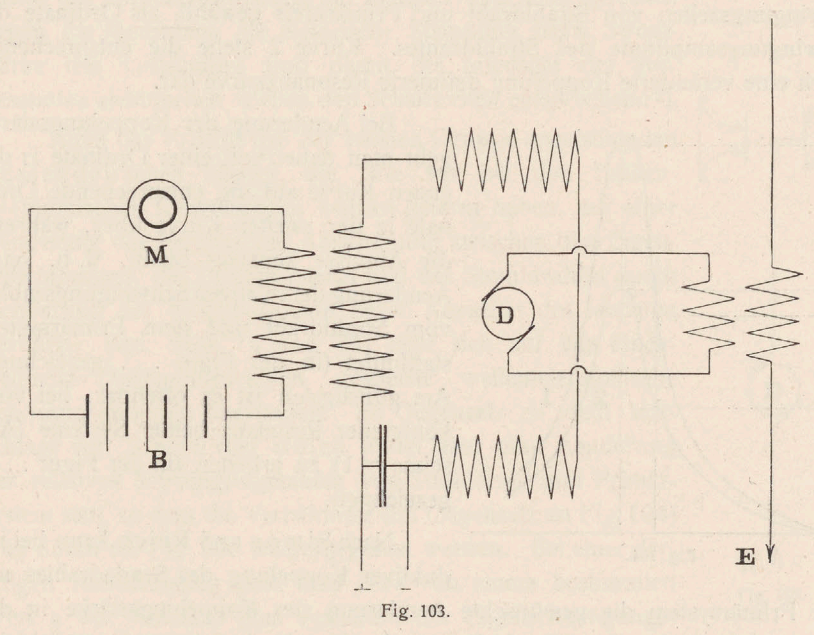


Fig. 103.

Detector in einen Lokalstromkreis geschaltetes Telephon in entsprechender Weise betätigen.

Bei gleichbleibender Wellenlänge bedingt eine Aenderung der Wellenintensität auch eine entsprechende Aenderung der Wirkung auf den Empfänger, bei wechselnder Wellenlänge werden in gleichen Zeiten eine verschiedene Anzahl von Wellen auf den Empfänger einwirken, so dass konstante Intensität der Wellen vorausgesetzt, der Effekt von der Anzahl der eintreffenden Wellen abhängt; bei auf einander abgestimmten Apparaten kommt noch hinzu, dass der Empfänger bald in, bald ausser Resonanz fällt.

Zur ersten Gruppe, die ein vollkommenes Analogon zur Lichttelephonie darstellt, gehört der vom Verfasser gemachte Vorschlag, die Erregerwicklungen der Hochfrequenzmaschine mikrophonisch zu beeinflussen[1]. (Fig. 103.)

Ebenfalls auf eine Aenderung der Strahlungsamplitude zielt das von Simon und Reich angegebene Sendersystem für drahtlose Telegraphie und Telephonie mittels ungedämpfter elektrischer Schwingungen ab, welche die Aenderung der Koppelungsstärke zwischen dem von Hochfrequenz-Wechselströmen durchflossenen Primärsystem und dem abgestimmten Strahldraht benutzt, ohne indes an die Verwendung eines Hochfrequenz-Wechselstromgenerators gebunden zu sein[2]. Kurve 1 in Fig. 104 sei bei einer bestimmten Koppelungsstärke die Resonanzkurve des Gebersystems. Als Abscisse ist das Verhältnis der Eigenschwingungszeiten von Strahldraht und Primärkreis gewählt, als Ordinate die Schwingungsamplitude des Strahldrahtes. Kurve 2 stelle die entsprechende durch eine veränderte Koppelung definierte Resonanzkurve dar.

Fig. 104.

Bei Aenderung der Koppelungsstärke geht man daher von einer Ordinate i_1 der ersten Kurve auf die entsprechende Ordinate i_2 der zweiten Kurve über, während die Abscisse konstant bleibt, d. h. keine Aenderung der relativen Schwingungszahlen vom Strahldraht und dem Primärsystem stattfindet (in der Figur .__. gezeichnet). Am günstigsten ist es offenbar, bei vollkommener Resonanz beider Systeme (Abscisse = 1) zu arbeiten (in der Figur . . . . gezeichnet).

Nach Simon und Reich kann bei induktiver Koppelung des Sendedrahtes mit dem Primärsystem die gewünschte Aenderung der Koppelungsstärke in der Weise erfolgen, dass man durch die von der Sprache hervorgerufenen Schwingungen einer Eisenmembrane den magnetischen Schluss des Transformators den Schallschwingungen der Sprache entsprechend verbessert bezw. verschlechtert. Bei direkter Koppelung lässt sich die Veränderung der Koppelungsstärke durch Verlegung des Koppelungspunktes auf dem Primärsystem erreichen.

---

1) Patentanmeldung. R 19015. Klasse 21a 4 vom 14. Dezember 1903, die aber versagt wurde. Fessenden hat neuerdings diesen Vorschlag wiederholt. Amerikanische Patentschrift No. 793649 vom 30. März 1905. Electr. World and Eng. 46. S. 90. 1905. The Electrician 55. S. 795. 1905 und E. T. Z. 26. S. 950. 1905.

2) D. R. P. No. 146764 vom 8. Oktober 1902 (verfallen).

Wir wollen an dieser Stelle endlich noch die von Fessenden angegebenen ähnlichen Anordnungen wellentelephonischer Sender erwähnen[1]).

Fessenden schaltet die Hochfrequenzmaschine, deren Anker zur Vermeidung starker Dämpfung einen möglichst niedrigen inneren Widerstand besitzen soll, direkt in den geerdeten Luftleiter und bringt ihre Wechselzahl mit den Eigenschwingungen des Luftleiters durch passende Wahl der elektrischen Konstanten desselben in Uebereinstimmung.

Bei einem zur ersten Gruppe gehörigen mit Intensitätsänderungen arbeitenden Sender wendet Fessenden ein zwischen Maschine und Luftdraht eingeschaltetes Mikrophon an (Fig. 105). Da die Stärke der erzeugten Resonanzspannung bezw. Stromstärke von dem Widerstande des Luftleiters abhängig ist, so ändert sich beim Sprechen gegen die Membrane die elektrische Spannung bezw. Stromstärke des Luftdrahtes und damit die Intensität der ausgesandten elektrischen Wellen den Schallwellen entsprechend[2]).

M

D

E

Fig. 105.

Auch das Prinzip der der zweiten Gruppe angehörenden Fessenden'schen Sender, die, wie wir bei den funkentelephonischen Anordnungen kennen gelernt haben, auf einer Aenderung der Reinheit der Abstimmung zwischen den Eigenschwingungen des Primärsystems und des Strahldrahtes durch Aenderung der Selbstinduktion bezw. Kapazität des letzteren beruhen, (vgl. Seite 74 und 75) lässt sich auf von Hochfrequenz - Dynamomaschinen gespeiste wellentelephonische Sendeanordnungen übertragen. Im Gegensatz zu dem Vorschlage von Simon und Reich findet aber eine Aenderung der relativen Schwingungszahlen von Strahldraht und Primärsystem statt, so dass die Verhältnisse (im Gegensatz zu Fig. 104) etwa durch die Fig. 106 wiedergegeben werden. Bei einer derartigen Beeinflussung geht man etwa von einem bestimmten Wert a der Abscisse (das Verhältnis der Eigenschwingungszeiten von Strahldraht und Primärkreis darstellend) zu einem anderen b über, so dass die Schwingungsamplitude des Strahldrahtes von i_a auf i_b fällt.

---

[1]) Amerikanische Patentschriften No. 706742 vom 6. Juni 1902, No. 706747 und No. 753863 vom 28. September 1901. Vgl. auch D. R. P. No. 143386 und No. 171535, beide vom 13. August 1902.

[2]) Mit einer dieser ähnlichen Anordnung (Einschaltung der sekundären Wicklung eines Mikrophonübertragers in den Luftleiter) scheinen die am 21. Dezember 1906 von Fessenden angestellten Versuche zwischen der Station Brant Rock und einem Dampfer, der sich in 16 km Entfernung vom Ufer befand, bezw. Plymouth, Mass. ausgeführt worden zu sein. Auf der Landstation wurde eine nach dem amerikanischen Patent No. 706737 vom 29. Mai 1901 gebaute Wechselstromdynamo mit 80000 Wechseln in der Sekunde benutzt. Der Anker dieser Maschine, dessen Widerstand etwa 6 Ohm beträgt, macht 10000 Umdrehungen pro Minute. Der Energieaufwand betrug nur 50 Watt. Die Empfangsstation besass einen 21 m hohen über einen Transformator geerdeten Luftdraht. Als Empfänger wurde eine elektrolytische Zelle verwendet. Vgl. Scientific American 19. Januar 1907. Zeitschr. f. Elektrotechn. und Maschinenb. 25. S. 183. 1907. E. T. Z. 28. S. 299. 1907 und Zeitschr. f. Schwachstromtechn. 1. S. 72, 93 u. 114. 1907.

Haben wir es bei der soeben betrachteten Methode der Erzeugung hochfrequenter Wechselströme mittels Hochfrequenz-Dynamos und ihrer Verwendung für wellentelephonische Zwecke noch mit Zukunftsträumen zu tun, so ist doch das Problem auf anderem Wege bereits gelöst worden. Diese Lösung, die wir jetzt ausführlicher kennen lernen wollen, knüpft an die **selbsttönende Bogenlampe** an.

Diese zuerst[1]) von Lecher[2]) beobachtete, später von Duddell[3]) und Peuckert[4]) näher untersuchte Erscheinung besteht in der Fähigkeit eines Gleichstromlichtbogens unter gewissen Bedingungen in einem aus Selbstinduktion und Kapazität in Serie geschalteten Parallelkreis (Fig. 107) Wechselströme nahezu sinusförmigen Verlaufs zu erregen. Aehnlich wie bei einer Orgelpfeife werden also durch eine stationäre Strömung in einem eigenartig gekoppelten schwingungsfähigen System Schwingungen hervorgerufen. Der Lichtbogen dient also als Gleichstromwechselstromumformer und bildet nach der Heinke'schen Bezeichnungsweise einen Wellenstromerreger zweiter Ordnung[5]), während die oben angeführten Hochfrequenz-Dynamos Wellenstromerreger erster Ordnung sind.

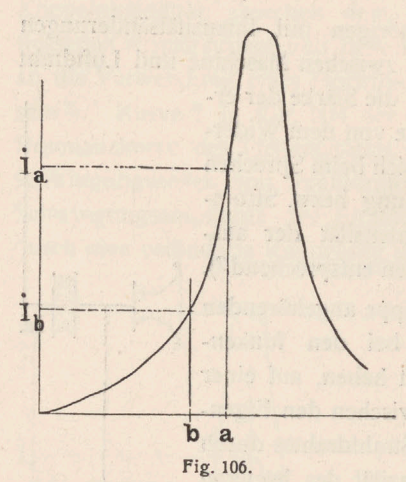


Fig. 106.

Bei geringem Ohm'schen Widerstande des Parallelkreises ergibt sich auch hier für die Frequenz der erzeugten Wechselströme in erster Annäherung die für ein elektrisches Schwingungssystem allgemein giltige Abhängigkeit:

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad ^{6)}$$

---

1) Ob Elihu Thomson bei seinen bereits im Jahre 1892 angestellten Versuchen schon dasselbe Phänomen beobachtet hat, erscheint dem Verfasser zweifelhaft (siehe S. 128–129) (vgl. hierzu: Amerikanisches Patent No. 506630 vom 18. Juli 1892, erteilt am 4. Juli 1893. The Electrician 46. S. 477. 1901. 58. S. 378. 1906. 58. S. 542. 1907. Electrical Review, London 59. S. 986. 1906 und E. T. Z. 28. S. 304/305. 1907).

2) Lecher. Wied. Ann. 33. S. 693. 1888. Vgl. auch: Phys. Zeitschr. 3. S. 285. 1901.

3) W. Duddell. Britische Patentschrift No. 21629 vom 29. November 1900. The Electrician 46. S. 269 u. 310. 1900 und Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 30. part. 148. 1901. Vgl. auch: Phys. Zeitschr. 2. S. 425 u. 440. 1901. Ferner: The Electrician 51. S. 902. 1903.

4) Peuckert. E. T. Z. 22. S. 467. 1901.

5) C. Heinke. Handbuch der Elektrotechnik I, 2. S. 384. 1904.

6) Vgl. hierzu auch: Tissot. L'Assoc. Franç. pour l'Avanc. des Sciences 1902 u. Éclair Électr. 32. S. 354. 1902. – P. Janet. Comptes Rendus 134. S. 462 u. 821. 1902. – J. K. A. Wertheim-Salomonson. Tijdschrift v. Geneeskunde 1902. Deel 1. S. 967. – Verslag der Vereenigung voor Electrotherapie en Radiologie. Compt. rend. du deuxième Congrès International de Radiologie et d'Électrologie Médicales à Bern 1902. S. 219. – Stromsterkte en toonhoogte bij den fluitenden lichtboog. Proc. Amsterdam 5.

Der Lichtbogen bläst also gewissermassen den Parallelkreis mit Resonanz an. Das Auftreten des Wechselstromes macht sich durch einen lauten und reinen Ton bemerkbar, dessen Schwingungszahl der Frequenz desselben entspricht. Durch Veränderung von Selbstinduktion und Kapazität des Schwingungskreises kann man die Tonhöhe des Bogens in weiten Grenzen verändern. (Lichtbogenklavier.)

In Fig. 108 und 109 sind zwei von Herrn W. Duddell freundlichst zur Verfügung gestellte oscillographische Aufnahmen vom selbsttönenden Lichtbogen wiedergegeben. Fig. 108 zeigt den Verlauf der Stromstärke im Schwingungskreis und im Lichtbogen; Fig 109 den Verlauf der Stromstärke im Schwingungskreise und der Spannung am Lichtbogen [1]).

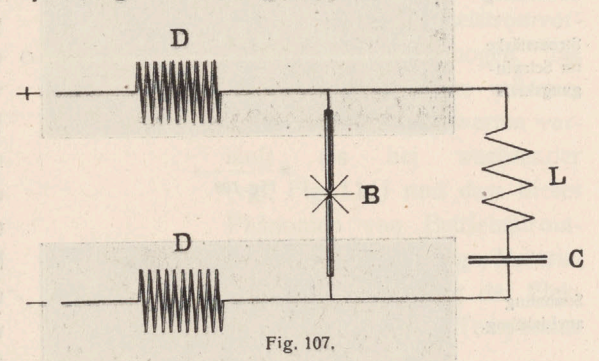


Fig. 107.

Was nun die Versuchsbedingungen für das Zustandekommen dieses Tönens bezw. für das Auftreten von Wechselströmen betrifft, so muss zunächst in die Speisestromleitung des Lichtbogens eine Drosselspule gleichsam als elektrisches Gelenk [2]) zwischen Stromquelle und Schwingungskreis eingeschaltet, die Betriebsstromstärke verhältnismässig niedrig gewählt und ein relativ kurzer etwa 2 bis 3 mm langer Lichtbogen zwischen homogenen Kohlen [3]) angewendet werden. Diese Bedingung lässt sich an Hand der Kaufmann'schen elektrodynamischen Theorie der Gasentladungen [4]) auch so ausdrücken, dass sich die Lichtbogengasstrecke im fallenden Aste ihrer Charakteristik, d. h. der Kurve, welche den Spannungsabfall als Funktion der Stromstärke darstellt, befinden oder

$$\frac{dE}{dI} \text{ negativ}^{5)} \text{ sein muss.}$$

S. 311. 1902. Versl. Kon. Akad. v. Wet. Amsterdam. S. 381. 5. November 1902. Beiblätter 27. S. 792. 1903. – Courants de haute fréquence non-amortis. Assoc. franç. pour l'avancement des Sciences. Congrès d'Angers 4.–11. August 1903. – Arch. d'Électr. Méd. September 1903. – The Electrician 51. S. 752. 1903 und Éclair. Électr. 34. S. 202. 1903. – Ascoli u. Manzetti. Rendiconti dei Lincei 11. (2) S. 11. 1902. – W. Mitkiewicz. Journ. d. russ. phys. chem. Ges. 34. S. 229. 1902 und Journ. de Phys. (4) 2. S. 223. 1903. – Corbino, Atti della Assoc. Elettrot. Italiana 7. S. 597. 1903. – Fabry. Éclair. Électr. 10. S. 375. 1903. – G. Granquist. Ueber die Periode und die Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung im singenden Flammenbogen. Boltzmann-Festschrift. S. 799. 1904.

1) Bei diesen Photographien erscheint die den Schwingungskreis betreffende Kurve gegen die zweite Kurve um 180° verschoben, da die gleiche Stromrichtung in dem einen System des Oscillographen den entgegengesetzten Ausschlag als im anderen hervorrief.

2) C. Heinke. Handbuch der Elektrotechnik I, 2. S. 384. 1904.

3) An Stelle des Kohlelichtbogens kann bei genügend hoher Betriebsspannung auch die Entladung durch eine Vakuumröhre treten.

4) W. Kaufmann. Göttinger Nachrichten. S. 243. 1899 und Ann. d. Phys. 2. S. 158. 1900.

5) W. Duddell, loc. cit. und H. Th. Simon und M. Reich, Phys. Zeitschr. 3. S. 278. 1901 und 4. S. 364. 1903. Ferner: H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 4. S. 737. 1903 und 7. S. 435. 1906.

Von den zahlreichen Theorieen des selbsttönenden Bogens[1]) ist die von Blondel[2]) und Simon[3]) auf Grund dieser Lichtbogencharakteristik aufgestellte die vollkommenste. Obwohl schon die bekannte statische Charakteristik eines Gleichstromlichtbogens zwischen homogenen Kohlen, die eine fallende ist, wie (nach den Ayrton'schen Messungen konstruierte) Fig. 110 zeigt, das Bestehen des Phänomens erklärt und über einige Betriebsbedingungen desselben Aufschluss gibt, so versagt dieselbe doch bei der Begründung vieler anderer experimenteller Ergebnisse. Während man z. B. einsieht, warum das Tönen für kleinere Betriebsstromstärken (also mit hoher Betriebsspannung und grossem Vorschaltwiderstand[4]), wo das Gefälle der Charakteristik beträchtlich ist, viel leichter einsetzt als bei grösseren Stromstärken, und oberhalb einer gewissen kritischen Stromstärke, (ca. 4 bis 5 Amp.), wo die Charakteristik fast parallel zur Abscissenachse verläuft, überhaupt nicht auftreten kann, so bleibt doch unerklärt, warum die Frequenz auch von der Betriebsstromstärke und der Bogenlänge abhängt und sich, was insbesondere für die elektrische Wellentelegraphie und -telephonie von besonderer Bedeutung ist, nicht über eine gewisse Grenze,

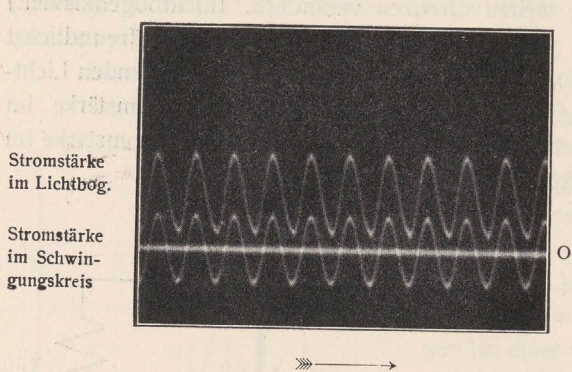


Fig. 108.

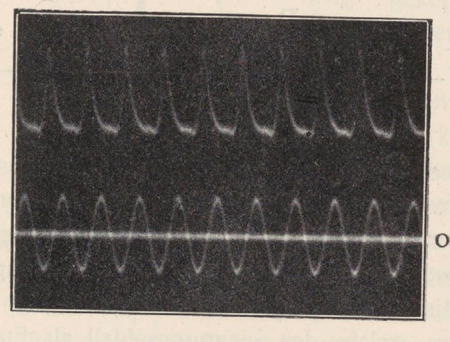


Fig. 109.

[1]) Vgl. z. B. S. Maisel. Phys. Zeitschr. 4. S. 532. 1903. 5. S. 550. 1904. 6. S. 38. 1905.

[2]) A. Blondel. Comptes Rendus 140. S. 1680. 1905.

[3]) H. Th. Simon. Phys. Zeitschrift. 7. S. 433. 1906. E. T. Z. 28. S. 295 und 314. 1907.

[4]) Zieht man in Fig. 110 durch den der Betriebsspannung entsprechenden Punkt E der Ordinatenachse eine Parallele zur Abscissenachse, so wird der Vorschaltwiderstand durch die Tangente des Winkels α dargestellt, den die durch E und den jeweiligen Punkt der Charakteristik bestimmte Verbindungsgrade (sog. Widerstandslinie, in der Figur punktiert gezeichnet) mit dieser Parallelen bildet. Einer Erhöhung des Vorschaltwiderstandes entspricht eine Drehung der Widerstandslinie im Sinne zunehmenden α, einer Erhöhung der Betriebsspannung eine Parallelverschiebung der Widerstandslinie im Sinne zunehmenden Abstandes der Parallelen von der Abscissenachse.

die etwa bei n=40000 liegt, steigern lässt[1]). – Eine allen Beobachtungen gerecht werdende Theorie lässt sich indes auf Grund der dynamischen Charakteristik eines Lichtbogens, bezw. der Lichtbogenhysteresis, die ein Analogon zu dem entsprechenden Phänomen bei magnetischen Kreisen bildet geben. – Diese Erscheinung, auf welche schon Ayrton[2]) hinweist und welche Simon[3]) mittels oscillographischer Aufnahmen genauer untersuchte, besteht nämlich darin, dass die Charakteristik bei Wechselstromvorgängen im Lichtbogen bei sinkender Stromstärke mit niedrigeren Spannungswerten verläuft als bei wachsender (vgl. Fig. 111) und dass dieses Phänomen von Betriebsstromstärke, Lichtbogenlänge, Material und Wärmeableitung der Elektroden, sowie Natur, Temperatur

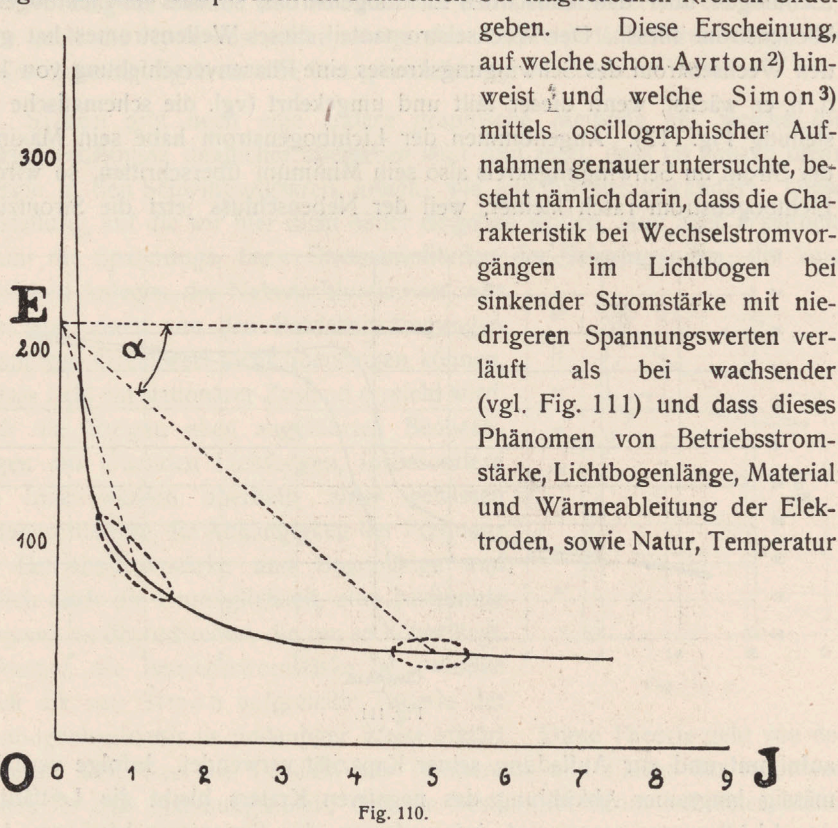


Fig. 110.

und Druck des umgebenden Gases abhängt. Aus den in gleicher Weise aus oscillographischen Aufnahmen am tönenden Lichtbogen konstruierten dynamischen Charakteristiken ergibt sich, dass auch hier die Lichtbogenspannung mit wachsendem Strome auf höheren Werten verläuft wie mit sinkenden und dass auch hier die Charakteristik eine Hysteresisschleife bildet (vgl. Fig. 112).

[1]) Duddell erklärt dies dadurch, dass für derartig hohe Frequenzen $\frac{dE}{dI}$ positiv wird. (The Electrician 51. S. 902. 1903.) – Wertheim-Salomonson berichtet indessen, dass er bei einem sehr kurzen Lichtbogen 400000 Schwingungen pro Sekunde beobachtet und 135000 photographisch registriert habe. (The Electrician 51. S. 752 u. 52. S. 126. 1903; vgl. auch: Arch. f. d. ges. Physiol. 106. S. 120. 1904). Nach Ansicht des Verfassers, der diese Versuche wiederholte und bei sehr geringer Speisestromstärke gleichfalls sehr hohe Frequenzen (ca. 300000) erzielte, handelt es sich hierbei um das unreine Duddell-Phänomen (vgl. S. 125–128).

[2]) H. Ayrton. The electric arc London. 1902.

[3]) H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 6. S. 297. 1905. E. T. Z. 26. S. 818 und 839. 1905.

Der Verlauf des Vorganges beim Duddell-Phänomen lässt sich dementsprechend folgendermassen darstellen:

Der aus dem Schwingungskreise fliessende Wechselstrom lagert sich im Lichtbogen über den konstanten Lichtbogenstrom, so dass im Lichtbogen ein Wellenstrom fliesst. Der Wechselstromanteil dieses Wellenstromes hat gegen den Wechselstrom des Schwingungskreises eine Phasenverschiebung von 180^{0}, d. h. er wächst, wenn dieser fällt und umgekehrt (vgl. die schematische Darstellung Fig. 113). Angenommen der Lichtbogenstrom habe sein Maximum, der Strom im Schwingungskreis also sein Minimum überschritten, so wird der Lichtbogenstrom rasch kleiner, weil der Nebenschluss jetzt die Stromzufuhr

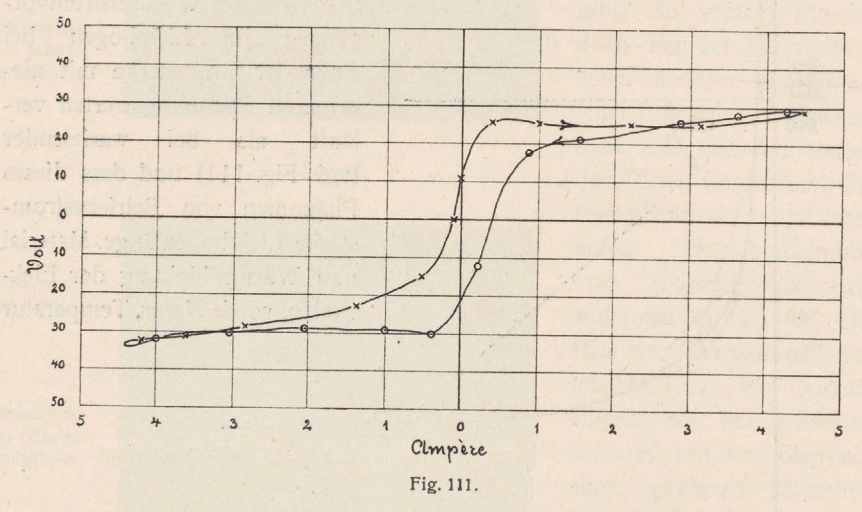


Fig. 111.

aufnimmt und zur Aufladung seiner Kapazität verwendet. Infolge verhältnismässig langsamer Abkühlung des negativen Kraters bleibt die Leitfähigkeit des Lichtbogens gross und infolgedessen der Spannungsabfall am Lichtbogen klein.

Die Lichtbogenspannung verläuft auf dem Aste ABC der Schleife. Hat der Nebenschlussstrom sein Maximum erreicht und nimmt die Stromzufuhr zum Lichtbogen wieder zu, so erfährt nunmehr infolge Abkühlung des negativen Kraters bezw. Verschlechterung der Leitfähigkeit des Lichtbogens die gleiche Stromstärke des wachsenden Stromes einen grösseren Spannungsabfall als vorher beim fallenden Strom; der anwachsende Strom verläuft auf dem Aste höherer Spannung CDA der Hysteresisschleife. Dabei wächst die Lichtbogenspannung zunächst an, bis die Kathode wieder weissglühend ist.

Von diesem Momente ab fällt dann bei weiter wachsendem Strom die Spannung schnell wieder ab. Ist die Kapazität des Schwingungskreises geladen,

so beginnt sie sich durch den Lichtbogen zu entladen und vergrössert so den Lichtbogen, bis mit der Entladung der Kapazität das Strommaximum im Lichtbogen erreicht ist und sich der Vorgang wiederholt.

Vorwiegend werden also Strecken „fallender“ Charakteristik durchlaufen, wenn auch die Hysteresis solche „steigender“ Charakteristik hereinbringt, die für den Schwingungskreis eine Energieentziehung bedeuten.

Simon gibt noch eine andere graphische Methode an, welche die Energieverhältnisse deutlicher übersehen lässt und zeigt, dass im ganzen mehr Energie in den Schwingungskreis hinein- wie aus ihm herauswandert. Diese Darstellung, auf die wir hier nicht näher eingehen wollen, lässt auch erkennen, warum die Spannungs- bezw. Stromamplituden der Schwingungen, die kurz nach dem Anlegen des Nebenschlusskreises sehr klein sind, einen von den Betriebsbedingungen abhängigen Grenzwert nicht übersteigen können, so dass bald ein stationärer Zustand erreicht wird. Auch die übrigen oben angeführten Beobachtungen am tönenden Lichtbogen, insbesondere sein Inaktivwerden oberhalb einer gewissen Speisestromstärke, die Abhängigkeit der Frequenz von Betriebsstromstärke und Bogenlänge und endlich auch die Unmöglichkeit, eine bestimmte Frequenz zu überschreiten, die um so höher liegt, je kleiner die Betriebsstromstärke ist, werden durch die von Simon aufgestellte Theorie der Lichtbogenhysteresis in eindeutiger Weise erklärt. Diese Theorie geht von der Annahme aus, dass das Produkt aus Temperatur und Fläche des negativen Kraters für den Spannungsabfall, den ein bestimmter Strom auf einer Lichtbogenstrecke erzeugt, entscheidend sei.

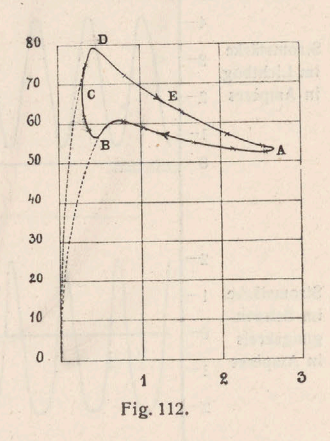


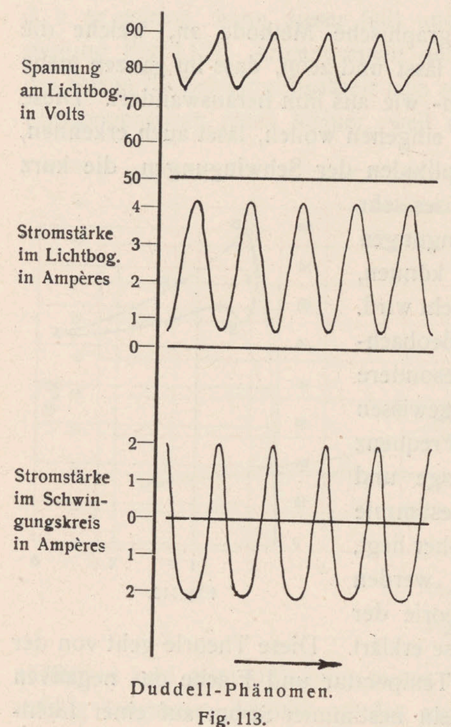
Fig. 112.

Die prinzipielle Bedeutung des Phänomens des tönenden Lichtbogens für Zwecke der drahtlosen Telegraphie und Telephonie wurde frühzeitig erkannt. Schon von Duddell und Simon wurde darauf hingewiesen, dass sich mit derartig erzeugten ungedämpften und rein sinusförmigen elektrischen Schwingungen eine vorzügliche Abstimmung verwirklichen und das Problem der elektrischen Wellentelephonie lösen lassen müsste.[1]) Obgleich eine praktische Anwendung so lange unmöglich war, als es nicht gelingen wollte, mehr als 30000 bis 40000 Schwingungen pro Sekunde zu erzielen und in das Gebiet der für

[1]) W. Duddell. Englische Patentschrift. No. 21629 vom Jahre 1900. Complete Specification. S. 4. Zeile 24–29. – H. Th. Simon. E. T. Z. 22. S. 513. 1901 sowie H. Th. Simon u. M. Reich. Phys. Zeitschr. 3. S. 278. 1901. 4. S. 364. 1903 und H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 4. S. 737. 1903.

wellentelephonische Zwecke erforderlichen Hochfrequenzströme vorzudringen, so hat es doch an diesbezüglichen Vorschlägen nicht gefehlt.

Erwähnt seien zunächst kurz die Versuche von Nussbaumer[1]) und Mosler,[2]) die aber in Wirklichkeit zu den funkentelephonischen gehören, insofern bei denselben der tönende Lichtbogen, dessen Schwingungsamplitude bezw. Frequenz in bekannter Weise durch Mikrophonbeeinflussung der Sprache entsprechend verändert wird, zur Speisung eines Induktoriums bezw. einer mit diesem verbundenen Funkenstrecke dient.



Duddell-Phänomen.
Fig. 113.

Das gleiche trifft bei dem Vorschlag von Eisenstein[3]) zu, den im Ruhestande inaktiven Lichtbogen der Sprache entsprechend aktiv zu machen. Zu diesem Zweck wird in dem Schwingungskreis die primäre Wicklung eines Mikrophon-Uebertragers geschaltet, dessen Selbstinduktion so gross ist, dass der Lichtbogen nicht mehr tönt.

Spricht man aber gegen ein in die Sekundärwicklung eingeschaltetes, mit einer Batterie verbundenes Mikrophon, so wird die primäre Selbstinduktion so geschwächt, dass der Lichtbogen im Rythmus der Sprache tönt.

Die hierbei im Schwingungskreise auftretenden Schwingungen werden auf hohe Spannung transformiert und zur Speisung einer mit dem Sendedrahte verbundenen Funkenstrecke benutzt.

Während bei diesen Verfahren durch die Benutzung einer Funkenstrecke eine Frequenztransformation zur Erregung des Luftdrahtes vorgenommen wird und tatsächlich schnell aufeinanderfolgende Komplexe gedämpfter Schwingungen hervorgerufen werden, hat Koepsel[4]) ein anderes Hilfsmittel vorgeschlagen, um die verhältnismässig langsamen Wechselströme im Schwingungskreise des

[1]) Nussbaumer. Phys. Zeitschr. 5. S. 796. 1904 und E. T. Z. 25. S. 1096. 1904.

[2]) Mosler. E. T. Z. 25. S. 1014. 1904. 26. S. 490. 1905.

[3]) S. Eisenstein. D. R. P. No. 166678 vom 8. Juli 1904. Englisches Patent No. 26696 vom Jahre 1904 (7. Dezember 1904).

[4]) Koepsel. E. T. Z. 25. S. 1107. 1904. Seine dort erwähnte Patentanmeldung K. 24734 Klasse 21 a vom 14. Februar 1903, die im Reichsanzeiger vom 13. Mai 1904 publiziert wurde, infolge Nichtzahlung der 1. Jahresgebühr aber zu einer Erteilung nicht führte, hat mir Herr Dr. A. Koepsel in freundlichster Weise am 4. Februar 1907 zugänglich gemacht.

tönenden Lichtbogens zur direkten Erregung des Luftdrahtes umwenden zu können, ohne an eine praktisch sich nicht verwirklichen lassende Höhe desselben gebunden zu sein.[1])

Dieser Vorschlag betrifft die Verkürzung der zur Resonanz erforderlichen Länge des Luftleiters durch Benutzung magnetischen Materials bezw. Aufspulung oder zickzackförmige Anordnung desselben.[2])

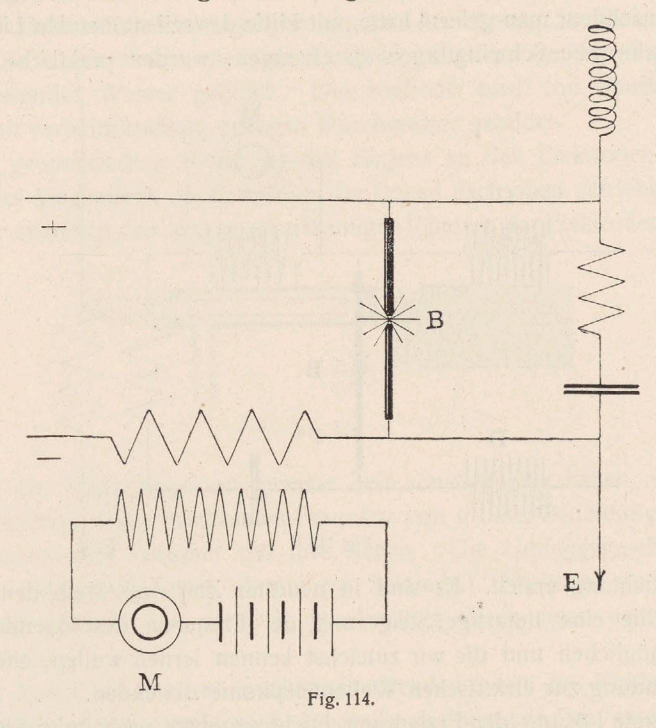


Fig. 114.

Die Sprachbeeinflussung sollte durch Ueberlagerung von Mikrophonströmen über den Speisestrom des Lichtbogens, also durch Aenderungen der Amplitude der direkt oder indirekt auf den Luftleiter übertragenen Schwingungen des Parallelkreises erfolgen (vgl. Fig. 114).

Leider scheiterten die Bemühungen zur Realisierung seines Vorschlages an der finanziellen Frage, für deren Lösung, wie Herr Dr. Koepsel sich drastisch ausdrückt, der heutige Techniker ja leider meistens auf ein Maecenatentum vom krassesten Egoismus angewiesen ist.

---

[1]) Für eine Schwingungszahl $n = 40000$ pro Sekunde würde sich die Länge des Luftleiters $l = \frac{\lambda}{4}$ zu 1875 **m** ergeben.

[2]) Auch durch die Vergrösserung der Kapazität kann man die Eigenschwingung des Luftleiters heruntersetzen. Eine diesbezügliche Anordnung siehe Fessenden amerikanische Patentschrift No. 706 737 vom 29. Mai 1901 und D. R. P. No. 143386 vom 13. August 1902.

Erwähnt sei an dieser Stelle auch noch eine von Campos vorgeschlagene Sendeanordnung, bei welcher das Mikrophon im Nebenschluss zu einer im Schwingungskreis angeordneten Selbstinduktionsspule geschaltet ist, so dass die beim Sprechen hervorgerufenen Widerstandsänderungen des Mikrophontaktes entsprechende Aenderungen der Schwingungszahl des Schwingungskreises zur Folge haben (Fig. 115).

Erst nachdem man gelernt hatte, mit Hilfe des selbsttönenden Lichtbogens schnelle elektrische Schwingungen zu erzeugen, wurden praktische Resultate

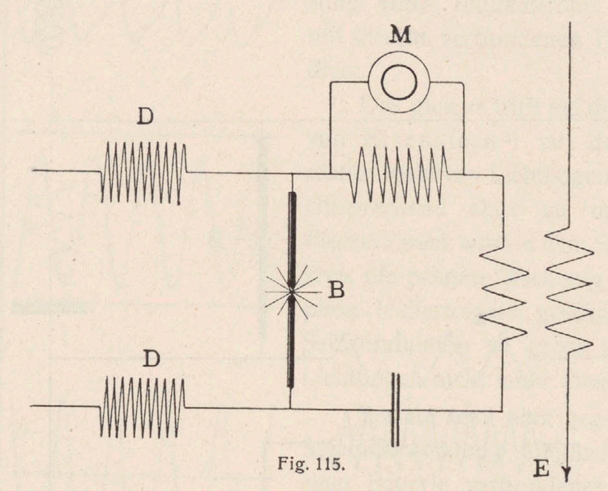


Fig. 115.

in dieser Richtung erzielt. Es sind in neuester Zeit drei Methoden bekannt geworden, die eine derartige Steigerung der Frequenz des tönenden Lichtbogens ermöglichen und die wir zunächst kennen lernen wollen, ehe wir uns ihrer Anwendung zur elektrischen Wellentelephonie zuwenden.

Die erste Lösung der Erzeugung hochfrequenter, verhältnismässig intensiver Wechselströme mittels des Duddell-Phänomens rührt von Poulsen[1]) her, der den Lichtbogen (bezw. einen gleichwertigen Ersatz desselben)[2]) anstatt in

[1]) V. Poulsen. Dänische Patentschrift No. 5590 vom 15. Dezember 1902, erteilt am 3. April 1903. Amerikanische Patentschrift No. 789449 vom 19. Juni 1903, erteilt am 9. Mai 1905. D. R. P. No. 162945 vom 12. Juli 1903. (Patentanmeldung P. 15041, Klasse 21g, ausgelegt am 20. April 1905.) Englische Patentschrift No. 15599 vom Jahre 1903, angemeldet am 14. Juli 1903, vervollständigt am 13. April 1904, erteilt am 14. Juli 1904. Französische Patentschrift No. 338725 vom 1. Dezember 1903, erteilt am 6. Juni 1904, sowie Vortrag, gehalten in der Festsitzung des Elektrotechnischen Vereins am 23. Oktober 1906. (E. T. Z. 27. S. 1029 und S. 1040. 1906) und in der Queen Hall, London am 27. November 1906 (Engineering 82. S. 734. 1907).

[2]) An Stelle eines gewöhnlichen Lichtbogens kann auch ein Quecksilberlichtbogen (vgl. Dänische Patentschrift No. 8073 vom Jahre 1904) oder bei höherer Spannung die Entladung durch eine Geissler-Röhre angewendet werden. Es ist interessant, dass bereits Righi bei seinen im Jahre 1901—1902 angestellten Versuchen, bei denen der Lichtbogen der Duddell'schen Anordnung durch eine Geissler-Röhre ersetzt war, mit besonders günstigem Erfolge eine solche mit Wasserstofffüllung anwandte. (Vgl. A. Righi, Sui fenomeni acustici dei condensatori. Memoria letta alla R. Accademia delle Scienze dell' Istituto di Bologna nella sessione del 25. Maggio 1902. Bologna 1902. S. 8. Zeile 14.)

Luft in einer Atmosphäre eines Gases mit grosser Wärmeleitfähigkeit, z. B. Wasserstoff oder Wasserstoffverbindungen, anordnet. Wie Poulsen gleichfalls gefunden hat, wirkt eine derartige Anordnung noch günstiger, wenn man den Lichtbogen nicht zwischen zwei Homogenkohlen, sondern zwischen einer gekühlten Metallanode und einer Kohlenkathode übergehen lässt[1]).

In Fig. 116 ist die von Poulsen bei seinem Generator zur Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen benutzte Anordnung der Elektroden dargestellt. Die Kupferanode, die sich übrigens auffallend gering abnutzt, wird durch fliessendes Wasser gekühlt. Die Kathode wird von einem Kohlenzylinder mit verhältnismässig grossem Durchmesser gebildet.

Zur geometrischen Fixierung des Bogens zu den Elektroden dient ein transversales Magnetfeld, durch welches der Bogen nach oben getrieben wird, so dass er nur zwischen den oberen scharfkantigen Rändern der Elektroden übergeht.

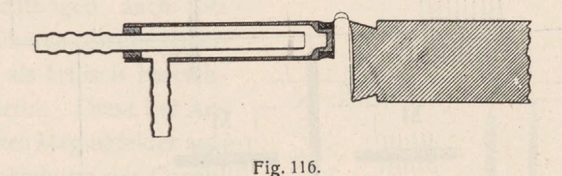


Fig. 116.

Um die Bogenlänge auf gewisse Zeit konstant zu erhalten, was für die Aufrechterhaltung einer bestimmten Frequenz von grosser Bedeutung ist, rotiert die Kohlenelektrode langsam um ihre Achse. (Die Umfangsgeschwindigkeit kann sehr gering sein, etwa 0,1 mm pro Sekunde.) Nachdem sie eine ganze Umdrehung gemacht hat, wird sie zweckmässig durch einen neuen Kohlenzylinder ersetzt.

Der Bogen ist in einer zweckentsprechenden eventl. mit Kühlvorrichtung versehenen Kammer eingeschlossen, durch die das benutzte Gas, nach Poulsen eignet sich karburierter Wasserstoff oder gewöhnliches Leuchtgas besser als reiner Wasserstoff, strömt. Auch bei dem in einer derartigen Atmosphäre

---

1) Auch Simon wies in seinem auf der Naturforscher-Versammlung in Kassel gehaltenen Vortrage darauf hin, dass eine Erhöhung der Wärmeableitung der Entladungsstrecke sowie der Elektroden, nach I. Stark, Ann. d. Phys. 12. S. 673. 1903 und Phys. Zeitschr. 5. S. 264. 1904, besonders der Kathode, von wesentlichem Einfluss auf die Entladungsvorgänge sein müsse, überliess aber die aus den Vor- und Nachteilen einer derartigen Abkühlung zu ziehende Schlussfolgerung einer umfassenden praktischen Durcharbeitung des Problems. Vgl. hierzu auch: H. Ayrton. The electric arc London 1902. Gustaf Granquist. Ueber die Bedeutung des Wärmeleitungsvermögens der Elektroden beim elektrischen Lichtbogen. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Upsala. 1902 und Phys. Zeitschr. 4. S. 537. 1903. B. Monasch. Der elektrische Lichtbogen. Berlin 1904. S. 54. I. Stark und L. Cassuto. Der Lichtbogen zwischen gekühlten Elektroden. Phys. Zeitschr. 5. S. 264. 1904.

Infolge der von Poulsen benutzten ungleichartigen Elektroden weicht allerdings die Kurve der im Schwingungskreis auftretenden Wechselströme von der Sinusform ab.

Simon (E. T. Z. 28. S. 317. 1907) führt überhaupt die Wirkungsweise der Poulsen'schen Anordnung auf die Unsymmetrie des verwendeten Lichtbogens, die seiner Ansicht nach auch bei gleichartigen Elektroden durch die Wasserstoffatmosphäre bedingt werde, zurück (vgl. hierzu S. 130).

brennenden tönenden Lichtbogen, wir wollen diese charakteristische Bezeichnung beibehalten, obwohl natürlich bei den hohen Schwingungszahlen (200 000 bis 1 000 000 pro Sekunde) eine sinnlich wahrnehmbare akustische Wirkung nicht stattfindet, ist die Aktivität des Bogens, d. h. seine Fähigkeit, den Schwingungskreis zu erregen, an die Stromstärke und Bogenlänge gebunden.

Erst unterhalb einer gewissen „kritischen" Stromstärke, die übrigens unter sonst gleichen Verhältnissen (etwa bei n = 500 000) bei Anwendung einer wassergekühlten Anode höher liegt (bei 220 Volt Betriebsspannung etwa bei 5 – 6 Ampères) als bei einer solchen ohne erhöhte Wärmeableitung (bei 220 Volt Be-

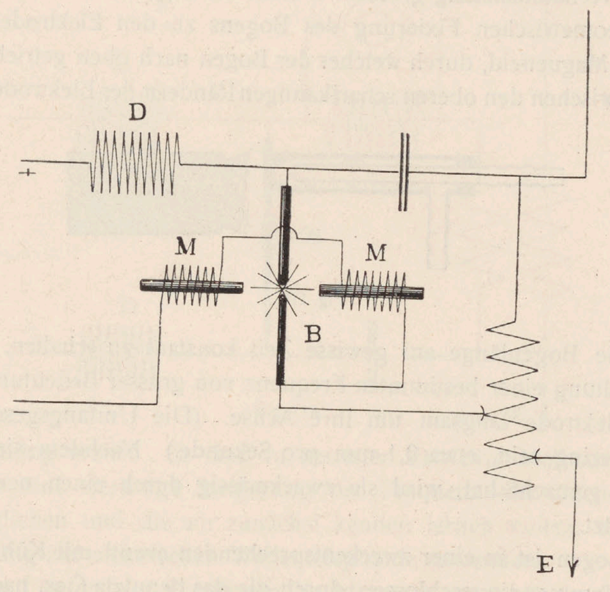


Fig. 117.

triebsspannung etwa bei 3 – 4 Ampères) wird der Bogen aktiv. Ebenso muss die Länge des Bogens eine gewisse Grösse besitzen, die Poulsen „aktive" Länge nennt. (Nachdem die Schwingungen einmal eingesetzt haben, kann dieselbe oft etwas verringert werden, ohne dass die Schwingungen aufhören.) Diese aktive Länge wächst mit der Stärke des Speisestromes und nimmt ab, wenn die Schwingungszahl wächst. Wird die kritische Stromstärke überschritten

[1]) In seinem Vortrage (1906) führt Poulsen ausführlich den Einfluss der Bogenlänge an, während der Einfluss der Stromstärke nur inbezug auf die Schwingungsenergie erwähnt wird. „Die Schwingungsenergie wächst auch mit der Stromstärke durch den Bogen, aber nur bis zu einem gewissen Punkt." Eingehendere Angaben finden sich in der amerikanischen und englischen Patentschrift, z. B. amerikanische Patentschrift No. 789 449. S. 1. Zeile 90. Experiments with this apparatus show that as the intensity of the continuous current increases the amplitude of the alternating currents diminishes or collapses and will finally cease, but the reason for the phenomenon is not as present known.

bezw. die aktive Bogenlänge nicht erreicht, so verliert der Lichtbogen seine Fähigkeit Schwingungen zu erregen, er wird inaktiv.

Beide Grenzbedingungen werden in günstiger Weise durch das bereits als zur Orientierung bezw. Fixierung des Lichtbogens dienend erwähnte magnetische Feld beeinflusst. Obwohl zur Festlegung der Stellung des Bogens offenbar ein permanenter Magnet genügen würde,[1]) wendet Poulsen bei seinem Generator stets zwei mit dem Speisestrom des Lichtbogens in Serie geschaltete, verhältnismässig kräftige Elektromagneten an, deren Wicklungen gleichzeitig als Drosselspulen im Hauptstromkreis wirken (vgl. Fig. 117).[2])

Das durch diese hervorgerufene starke Magnetfeld bietet nun zugleich den Vorteil, dass der Spannungsabfall im Bogen sehr gross wird im Verhältnis zur Bogenlänge (z. B. 440 Volt auf eine Bogenlänge von 3 mm) und endlich, dass der Lichtbogen auch bei wesentlich höheren Stromstärken als der oben als kritisch bezeichneten aktiv bleibt. Diese bei Anwendung starker Magnetfelder auftretende Verschiebung der Grenzbedingungen der Aktivität, die nach Ansicht des Verfassers (worauf weiter unten noch ausführlicher eingegangen werden wird) darauf zurückzuführen sein dürfte, dass dann der Anordnung nicht mehr der selbsttönende, sondern ein durch elektromagnetische Beeinflussung zwangsweise tönender Lichtbogen zu Grunde liegt, erwähnt Poulsen nur indirekt indem er angiebt, dass die Anwendung eines starken mit dem Lichtbogen in Serie geschalteten Elektromagneten im Allgemeinen dem Schwingungskreis eine grössere Nutzwirkung giebt als ohne Magnetfeld erreicht werden kann.[3]) Deutlicher geht der diesbezügliche Einfluss des Magnetfeldes aus den angeführten Beispielen seiner wellentelegraphischen Versuche zwischen Lyngby und Esbjerg (Entfernung etwa 300 km) hervor, bei denen die ausgestrahlte Energie (bei 700 Watt Energiezufuhr: 240 Volt, ca. 3 Ampères) von ursprünglich 100 Watt

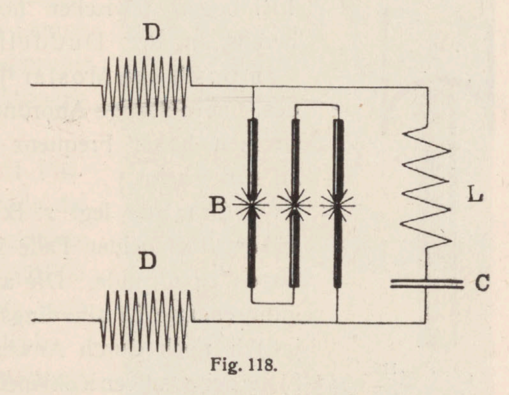


Fig. 118.

[1]) Ein solcher ist auch nur in der Zeichnung der deutschen Patentschrift (vgl. Fig. 11) und der provisorischen englischen Patentbeschreibung (Fig. 16) abgebildet, während in den zuerst eingereichten dänischen und amerikanischen Patentbeschreibungen von einem Magnetfeld überhaupt keine Rede ist.

[2]) Diese Schaltung findet sich zum ersten Mal in der französischen Patentbeschreibung vom 1. Dezember 1903 (Fig. 4–6).

[3]) Vgl. hierzu auch: Englische Patentschrift S. 6, Zeile 51 u. ff. „an essentially more useful effect can be obtained by placing the conductor or the arc in a magnetic field, the lines of force of which are perpendicular or parallel to the conductor."

durch Verstärkung des Magnetfeldes auf 400 Watt gesteigert wurde (bei 2800 Watt Energieverbrauch: 240 Volt, 11,7 Ampères).

Zur weiteren Steigerung der Schwingungsenergie, die übrigens bei einer gegebenen Speisestrom-Spannung mit abnehmender Schwingungszahl wächst, schlägt Poulsen die Parallel- oder Serienschaltung mehrerer in einer Wasserstoffatmosphäre angeordneter Lichtbogen vor[1].

Damit kommen wir zur zweiten Methode der Erzeugung hochfrequenter Wechselströme mittels des selbsttönenden Lichtbogens.

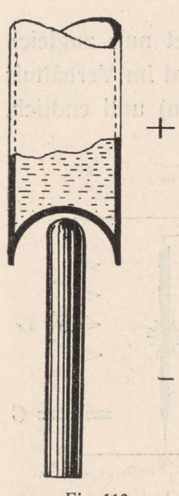


Fig. 119.

Wie der Versuch ergibt, lassen sich nämlich auch mittels eines in Luft brennenden unterteilten Lichtbogens ungedämpfte schnelle elektrische Schwingungen hervorrufen (vgl. Fig. 118). Eine derartige Hintereinanderschaltung mehrerer Lichtbogen (zwischen homogenen Kohlenelektroden) war bereits in der Duddell'schen Patentschrift[2], sowie von Campos[3] und Mosler[4] angegeben worden, ohne dass indes eine derartige Anordnung zur Erzeugung von Wechselströmen hoher Frequenz bis vor Kurzem benutzt worden zu sein scheint.

Campos legt z. B. bei einem von ihm rechnerisch näher untersuchten Falle 10 hintereinandergeschaltete Lichtbogen zu Grunde. Die auf diese Weise erzielbare Schwingungsenergie ist allerdings verhältnismässig gering, lässt sich jedoch noch durch Anwendung gekühlter Metallanoden an Stelle der positiven Kohlenelektroden steigern[5]. Diese Methode ist von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in Berlin ausgebildet worden[6]. Fig. 119 zeigt die Ausführung der von dieser verwendeten Kupferelektroden[7]. In die Hohlfläche des mit Wasser gefüllten Kupferbehälters ragt die Kohlenelektrode hinein. Die Regulierung sämtlicher Lichtbogen wird dadurch in einfacher Weise ermöglicht, dass die von einander isolierten Kohlen-

[1]) Bei höheren Betriebsspannungen dürfte auch eine Erhöhung des Druckes der Wasserstoffatmosphäre zum Ziel führen (vgl. hierzu auch: R. A. Fessenden. Amerikanische Patentschrift No. 706 741 vom 5. November 1901 und S. Eisenstein. Patentanmeldung E. 10087 Klasse 21a, eingereicht am 1. Juni 1904 [versagt]).

[2]) Complete Specification. S. 3, Zeile 51–52.

[3]) Vgl. Die Schwachstromtechnik in Einzeldarstellungen. Bd. II. D. Mazzotto. Drahtlose Telegraphie und Telephonie. S. 278. 1906.

[4]) H. Mosler. E. T. Z. 25. S. 1014. 1904.

[5]) Vgl. W. Hahnemann E. T. Z. 27. S. 1089. 1906 und 28. S. 353. 1907. An letzterer Stelle wird die dem Schwingungskreis entziehbare Energie für diese Anordnung auf etwa 20 Watt, bei einem durch Wasserstoff beeinflussten Lichtbogen auf etwa 100 Watt angegeben.

[6]) Auch für diese gilt bezüglich der Unsymmetrie des Lichtbogens das beim Poulsen-Generator Gesagte (vgl. auch H. Th. Simon E. T. Z. 28. S. 317. 1907).

[7]) Vgl. auch Patentanmeldung G. 23718. Klasse 21a vom 6. Oktober 1906. Ausgelegt am 28. Februar 1907.

elektroden an ein und demselben um seine Längsachse drehbaren Holzstück angebracht sind. Ueber denselben befinden sich die Kupferelektroden. Es werden zunächst die Lichtbogen gesondert eingestellt und dann durch das gemeinsame, drehbare Holzstück mit einem Male gezündet und reguliert. Da der Abbrand der Kohlenkathoden bei der angegebenen Ausführungsform der Kupferanoden ein verhältnismässig geringer ist, so kann man die Schwingungen ziemlich lange aufrecht erhalten, indem man von Zeit zu Zeit das gemeinsame Holzstück durch eine geeignete Vorrichtung ein klein wenig dreht, so dass eine Nachstellung der einzelnen Lampen unnötig ist.

Bei 220 Volt Betriebsspannung kann man 6, bei 440 Volt 12 Lichtbogen in Serie schalten.

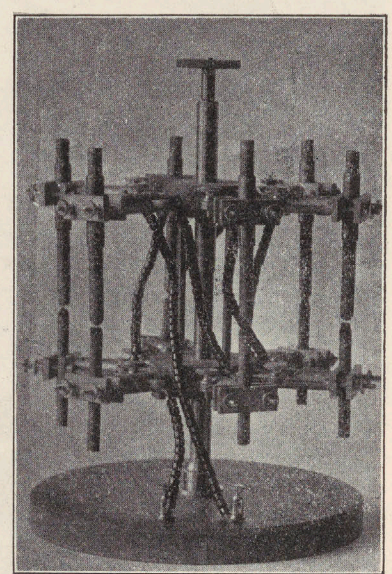


Fig. 120.

In Fig. 120 ist eine vom Verfasser für Versuchszwecke gebaute 6 fach-Lampe abgebildet, die sowohl die Regulierung jedes einzelnen als auch aller Lichtbogen auf einmal gestattet.

Ebenso wie beim Duddell-Phänomen setzen auch bei dieser Methode die Schwingungen aus, wenn man eine gewisse kritische Stromstärke (die für $n = 500000$ und bei 220 Volt Betriebsspannung etwa bei 4 – 5 Ampères liegt) überschreitet[1]).

Die dritte hierhergehörige Methode endlich, wendet einen Hochspannungslichtbogen geringer Stromstärke zwischen Metallelektroden an[2]). – Wir haben es bei derselben mit dem schon auf S. 93 kurz erwähnten Wogen eines Hochspannungslichtbogens zu tun.

Diese Methode hat Verfasser näher untersucht und ausgebildet. Die diesbezüglichen Versuche knüpften an die Tatsache an, dass die kritische Stromstärke eines selbsttönenden Lichtbogens, bei welcher er die Fähigkeit, Schwingungen zu erregen, verliert, um so höher liegt, je grösser die Kapazität des Kondensators im Schwingungskreise ist. So konnte z. B. bei einer Kapazität von ca. 150 Mikrofarad noch ein Tönen des Bogens bei einer Betriebsstromstärke

[1]) Diese Erscheinung wird z. B. bei einer zum Patent angemeldeten Schaltungsweise der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in Berlin zum Tasten von Lichtbogen-Schwingungserregern für Zwecke der elektrischen Wellentelegraphie ausgenutzt (vgl. Patentanmeldung G. 23994 Klasse 21a vom 3. Dezember 1906.)

[2]) Vgl. hierzu auch B. Monasch. Patentanmeldung M. 20884 Klasse 21a vom 27. Oktober 1906.

von 20 Ampères (bei 220 Volt Netzspannung) erhalten werden. Verfasser schloss hieraus, dass bei kleinen Kapazitäten, wie sie zur Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen erforderlich sind, nur sehr geringe Stromstärken zur Speisung des Lichtbogens angewendet werden dürfen. Da es aber bei den üblichen Netzspannungen unter normalen Verhältnissen unmöglich ist, einen Lichtbogen mit genügend kleiner Stromstärke dauerd zu erhalten, und selbst wenn dieses

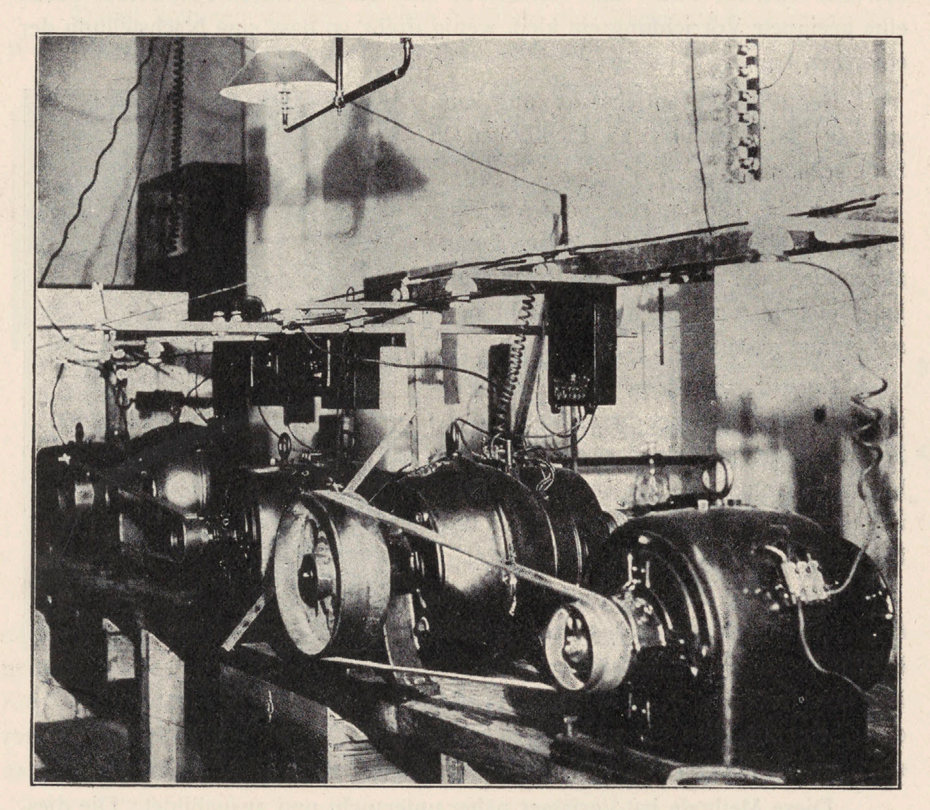


Fig. 121.

unter Anwendung geeigneter Kunstgriffe möglich sein würde, die dem Schwingungskreise entziehbare Energie dann für praktische Zwecke viel zu gering wäre, so ging Verfasser zur Benutzung eines Hochspannungslichtbogens über. Der hierzu erforderliche Strom von ca. 2500 Volt Spannung wurde durch Serienschaltung mehrerer mittels Elektromotoren angetriebener kleiner Gleichstromdynamos (von je 2 Kilowatt Leistung) erhalten. Den Aufbau der Dynamos und Motoren zeigt Fig. 121.

In die Speiseleitung des Lichtbogens wurde eine Spule hoher Selbst-

induktion und ein variabler Glühlampenwiderstand von 1000 – 16000 Ohm eingeschaltet.

Anfänglich wurde der Lichtbogen zwischen zwei homogenen Kohlen gebildet, die aber bald durch Aluminiumstäbe bezw. Röhren ersetzt wurden. Später wurde als Anode ein Kupferstab, und als Kathode eine langsam rotierende, scharfkantige Aluminiumscheibe benutzt. Der Abstand der Elektroden betrug in den meisten Fällen nur Bruchteile eines Millimeters.

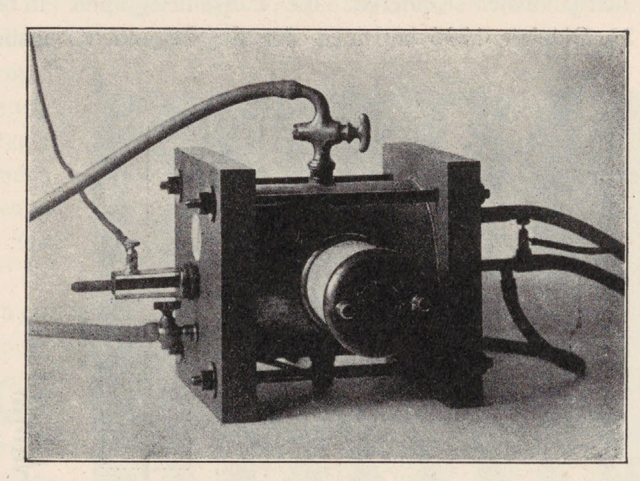


Fig. 122.

Auch bei dieser Methode kann man die Stromstärke und damit die Energie im Stromkreis bei Kühlung der Elektroden und magnetischer Beeinflussung des Bogens erhöhen, ohne dass dieser seine Fähigkeit, Schwingungen zu erzeugen, verliert. Der sowohl bei dem Poulsen'schen, als auch bei dem Lichtbogen-Generator der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie sich geltend machende Uebelstand der Unbeständigkeit der Schwingungszahl infolge der durch Abbrand der Elektroden und durch Wanderung der Fusspunkte des Lichtbogens hervorgerufenen Längenänderung desselben, konnte durch Konstruktion einer einfachen Vorrichtung, die es gestattet, die Länge eines Lichtbogens auf beliebige Dauer fast mathematisch genau konstant zu erhalten, überwunden werden, so dass bei dieser Anordnung alle aus Variationen der Schwingungszahl sich ergebenden Nachteile vermieden werden, weil eine absolute Konstanz der Frequenz erzielt wird.

Wegen schwebender Patentanmeldungen können leider an dieser Stelle keine nähere Angaben über diese Vorrichtung gemacht werden[1]).

Nachdem wir nun im Vorhergehenden die drei wichtigsten Methoden kennen gelernt haben, die es gestatten, mit Hilfe des selbsttönenden Lichtbogens hochfrequente Wechselströme zu erzeugen[2]), wollen wir uns nunmehr

---

1) Unter bestimmten Verhältnissen erhält man auch günstige Resultate, wenn man die Entladung sich in Vakuumröhren vollziehen lässt.

2) Ueber ähnliche Methoden vgl. z. B. Patentanmeldungen Klasse 21a B. 43661 vom 17. Juli 1906, G. 23377 vom 21. Juli 1906 und G. 23391 vom 25. Juli 1906 sowie S. G. Brown. On a method of producing continuous high-frequency electric oscillations. The Electrician 58. S. 201. 1906.)

der Anwendung dieser Lichtbogen-Generatoren bei den Sendern für elektrische Wellentelephonie zuwenden. In dieser Beziehung sind bereits die mannigfaltigsten Vorschläge gemacht worden [1]).

Das nächstliegende Verfahren bildet offenbar die Beeinflussung des Speisestromes vom Lichtbogen-Generator.

Ueber die ersten von Erfolg gekrönten diesbezüglichen Versuche, die Verfasser im Sommer 1906 anstellte, hat derselbe den Teilnehmern an der internationalen Konferenz für Funkentelegraphie in einer Mitteilung vom 23. Oktober 1906 berichtet, der die folgenden Angaben entnommen sind [2]).

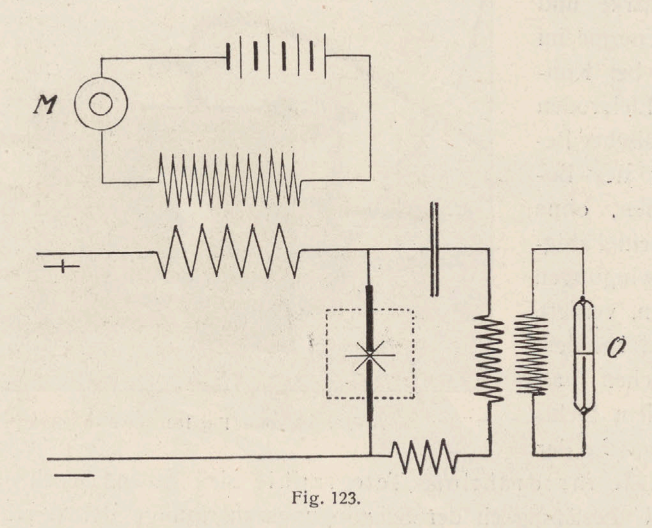


Fig. 123.

„Als Wellenstromerreger wurde beim Sender ein in einer Wasserstoff-Atmosphäre angeordneter tönender Lichtbogen (ohne Magnetgebläse) benutzt, der mit Gleichstrom (220 Volt) gespeist wurde (vgl. Fig. 122). Der Schwingungskreis wurde von einer aus 7 Leydener Flaschen bestehenden Kapazität (ca. 0,02 Mikrofarad), einer regulierbaren Selbstinduktionsspule und der primären Spule eines Tesla-Transformators gebildet. Bei genauer Abstimmung konnte zwischen den sekundären Polen des Tesla-Transformators ein ruhig brennender Hochspannungsflammenbogen von mehreren Zentimeter Länge erhalten werden. Betrachtet man diesen im rotierenden Spiegel, so erscheint derselbe gleichmässig wie ein Gleichstromlichtbogen, weil die Wechselzahl des Bogens (ca. 300000 pro Sekunde), viel zu hoch ist, um ihn in seine einzelnen

---

[1]) Vgl. hierzu auch Poulsen. Dänische Patentschrift No. 8208 vom 27. September 1904, erteilt am 18. Januar 1906, bekannt gemacht am 29. Januar 1906.

[2]) Vgl. auch: E. T. Z. 27. S. 1060. 1906. The Electrician 58. S. 299. 1906. Electrical Review London. 9. November 1906. Americ. Teleph. Journ. New York 14. S. 351. 1906. Electrical World 48. S. 1121. 1906 und Electrical Review New York 49. S. 966. 1906.

Wechsel auflösen zu können. Ebenso zeigt eine in die sekundäre Spule des Transformators eingeschaltete Glimmlicht-Oscillographenröhre, die sich übrigens vorzüglich zur Abstimmung der Schwingungskreise auf einander eignet, eine von zwei parallel zur Nullinie, in gleichem Abstande von dieser, verlaufenden Graden begrenzte gleichmässig helle Glimmlichtfläche.

Die Glimmlicht-Oscillographenröhre lässt auch sehr deutlich den Einfluss des Abstandes der Elektroden des Wellenstromerregers, sowie der Speisestromstärke auf die Intensität der erzeugten ungedämpften elektrischen Schwingungen an der Grösse des Glimmlichtausschlages erkennen.

Letztere Wahrnehmung führte zum Versuch, den Wellenstromerreger nach Art der sprechenden Bogenlampe zu beeinflussen. Die bisher vor den Lichtbogen in die Speiseleitung desselben geschaltete Drosselspule, welche eine Rückwirkung der schnellen Schwingungen auf das Gleichstromnetz verhindern soll, wurde durch eine Induktionsspule ersetzt, deren sekundäre Wicklung mit einem Mikrophon und Batterie verbunden wurde (Fig. 123). Der Versuch war von Erfolg gekrönt, denn beim Sprechen in das Mikrophon zeigte die Oscillographenröhre im rotierenden Spiegel deutlich ein den Sprachschwingungen entsprechend gefranstes, jetzt auch nicht mehr gleichmässig helles, sondern undulierendes Lichtband, ein Beweis, dass die Intensität der Hochfrequenzströme in der sekundären Wicklung des Tesla-Transformators der Sprache entsprechend beeinflusst wurde.

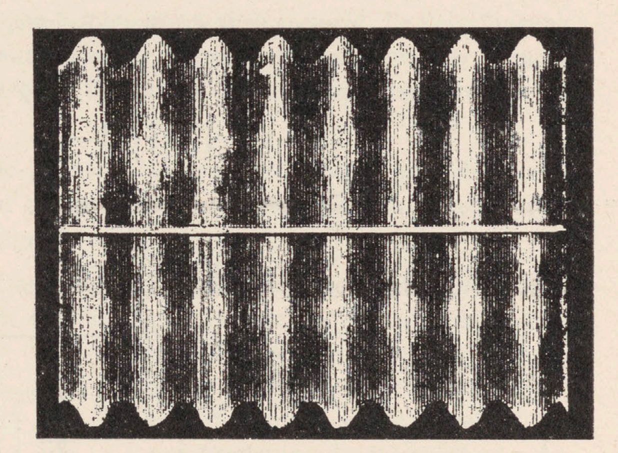


Fig. 124.

Fig. 124 zeigt ein (nach einer sehr lichtschwachen photographischen Aufnahme gezeichnetes) Glimmlichtbild in dem sich drehenden Spiegel für den Vokal „o".

Wenn anstatt der Glimmlichtröhre der oben erwähnte Hochspannungs-Flammenbogen mit den undulierenden Hochfrequenzströmen gespeist wurde, gab derselbe laut und deutlich jedes in das Mikrophon gesprochene Wort wieder, in einer Lautstärke, die die des bekannten sprechenden Gleichstromflammenbogens noch übertraf.

Von diesem Versuche bis zur Uebertragung der Sprache mittels elektrischer Wellen war dann nur noch ein Schritt.

Fig. 125 stellt die Senderschaltung, Fig. 126 die benutzte Empfangsschaltung dar. Als Empfänger wurde zunächst ein Mikrophonkontakt benutzt, der aber bald durch eine electrolytische Zelle, die sich besser bewährte, ersetzt wurde.

Diese Versuche, die allerdings nur im Laboratorium angestellt wurden, ergaben ein überraschend günstiges Resultat. Bei Luftdrähten von nur 1 1/2 m Länge konnte die Sprache auf eine Entfernung von 30 m sehr laut und deutlich übertragen werden.

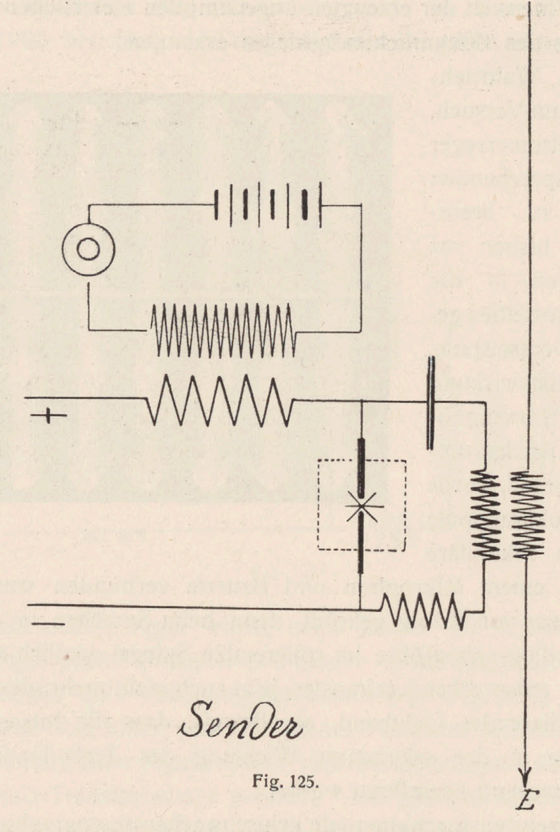


Fig. 125.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass sich nach dieser Methode bei Anwendung längerer Strahldrähte eine gute Uebertragung der Sprache mittels elektrischer Wellen auf mehrere Kilometer wird erzielen lassen.

Ich hoffe, über derartige Versuche demnächst berichten zu können."

Diese Versuche wurden dann im Dezember 1906 in Berlin zwischen zwei 500 m von einander entfernten Wohnhäusern fortgesetzt. Die Betriebsspannung des Lichtbogens betrug hierbei 440 Volt, als Kapazität des Schwingungskreises wurde ein Paraffinhochspannungskondensator von 0,031

Mikrofarad verwendet, der sich trotz der ihn durchfliessenden hohen Stromstärken vorzüglich bewährte. Die Länge der Luftdrähte über den Dächern betrug etwa 20 m. Die Uebertragung der Sprache gelang auch bei diesen Versuchen vollkommen. Natürlich kann auch, wie wir schon bei der sprechenden Bogenlampe und auch bei den mit Hochfrequenz-Dynamos arbeitenden wellentelephonischen Sende-Verfahren kennen gelernt haben, an Stelle der Ueberlagerung der Mikrophonströme über den Speisestrom des Lichtbogens die Beeinflussung der Erregerwicklungen der den Lichtbogen speisenden Dynamomaschine treten.

Mit wenig günstigem Erfolge wurde auch versucht, die Beeinflussung durch eine mittels manometrischer Kapsel herbeigeführte, der Sprache entsprechende undulierende Gaszufuhr zu der Lichtbogenkammer zu bewirken.

Bessere Resultate konnten dagegen durch mikrophonische Beeinflussung eines getrennt erregten oder von dem Lichtbogenstrom durchflossenen Blaselektromagneten erzielt werden.

An Stelle der Einwirkung auf den Speisestrom oder Lichtbogen können natürlich auch bei diesen lichtbogentelephonischen Verfahren alle anderen Methoden, die wir bereits kennen gelernt haben, angewendet werden, sei es dieselben auf eine Aenderung der Intensität oder der Frequenz der Strahlung abzielen; erwähnt seien insbesondere jene, das Mikrophon parallel zur Selbstinduktion des Schwingungskreises zu schalten (Campos), dasselbe direkt oder indirekt auf den Luftleiter wirken zu lassen (Fessenden), oder endlich dasselbe zur Veränderung der Kopplungsstärke zwischen geschlossenem und offenem Schwingungssystem zu benutzen (z. B. mittels einer durch das Mikrophon kurz geschlossenen Hilfswicklung).

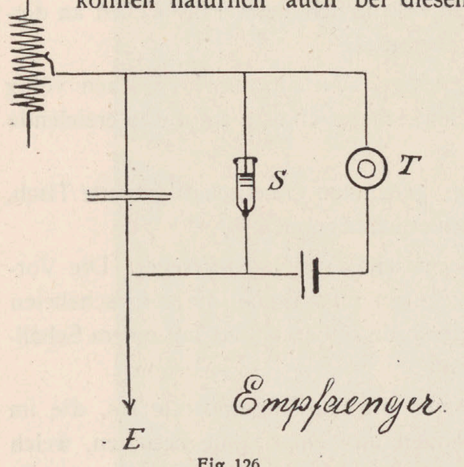


Fig. 126.

Auch kann anstatt der Beeinflussung eine der Sprache entsprechende Auslösung der Schwingungen bezw. Wellen, z. B. unter Ausnutzung der Erscheinung des Inaktivwerdens des Lichtbogens treten. Verfasser hat die verschiedensten Anordnungen über kürzere Entfernungen erprobt. Im Verlauf dieser Versuche ist es ihm gelungen, eine neue Methode auszubilden, die an Einfachheit und Wirksamkeit nichts zu wünschen übrig lässt.

Bezüglich näherer Angaben über dieselbe muss auf die in einiger Zeit hierüber erfolgenden Veröffentlichungen in elektrotechnischen Fachzeitschriften verwiesen werden.

Aehnliche Versuche unter Verwendung des Mehrfach-Lichtbogen-Erregers führte die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie im Dezember 1906 aus. Genauere Angaben über die von dieser verwendeten Schaltungen sind noch nicht bekannt geworden, doch scheint es sich Zeitungsnotizen zufolge, um eine Ueberlagerung der Mikrophonströme über den schwingenden Strom im Luftleiter zu handeln. Auf der Empfangsstation wurde eine elektrolytische Zelle benutzt.

Ueber den äusseren Verlauf eines derartigen am 14. Dezember 1906 zwischen dem Berliner Laboratorium der Gesellschaft und der Nauener Station derselben (also auf eine Entfernung von etwa 40 km) angestellten Versuchs berichtete Unterstaatssekretär Sydow ausführlicher in der Sitzung des Berliner Elektrotechnischen Vereins vom 18. Dezember 1906[1]).

Nach Ansicht des Verfassers kann aber dieser Versuch für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Systems nicht herangezogen werden, insofern beide Stationen, wie auch aus dem Sydow'schen Bericht deutlich hervorgeht, drahttelephonisch verbunden waren und sich bekanntlich elektrische Wellen an derartigen Drahtleitungen vorzüglich fortpflanzen.

Erst Versuche unter weniger günstigen Verhältnissen, zwischen völlig getrennten Stationen, z. B. auf See, würden sichere Schlüsse auf die zu erzielende Reichweite ziehen lassen.

In Fig. 127 ist der erste von der genannten Gesellschaft gebaute Tisch, der für Geben und Empfangen eingerichtet ist, abgebildet[2]).

Rechts auf demselben steht der sechsfache Lichtbogen-Erreger. Die Vorschaltwiderstände befinden sich auf der linken Schmalseite, die vorgeschalteten Drosselspulen unter dem Tisch. Oberhalb desselben ist das mit einem Schalltrichter versehene Mikrophon angebracht.

Die linke Seite des Tisches nehmen die Empfangsapparate ein, die im wesentlichen aus der Zelle, den Telephonen und einer Spule bestehen, welch letztere sowohl den Empfangsdraht in Resonanz bringt, als auch die Schwingungen der Zelle zuführt. Stromstärkenmessapparate für die verschiedenen Kreise vervollständigen die Ausrüstung. Zur Umschaltung von Geben auf Empfangen dient der in der Mitte der Tischplatte sichtbare Schalter.

Zum Schluss dieses Abschnittes seien endlich noch einige bisher nicht angeführte Empfänger genannt, die sich für Zwecke der elektrischen Wellen-

---

1) Vgl. E. T. Z. 27. S. 1211. 1906.

2) Vgl. Technische Rundschau 13. S. 205. 1907.

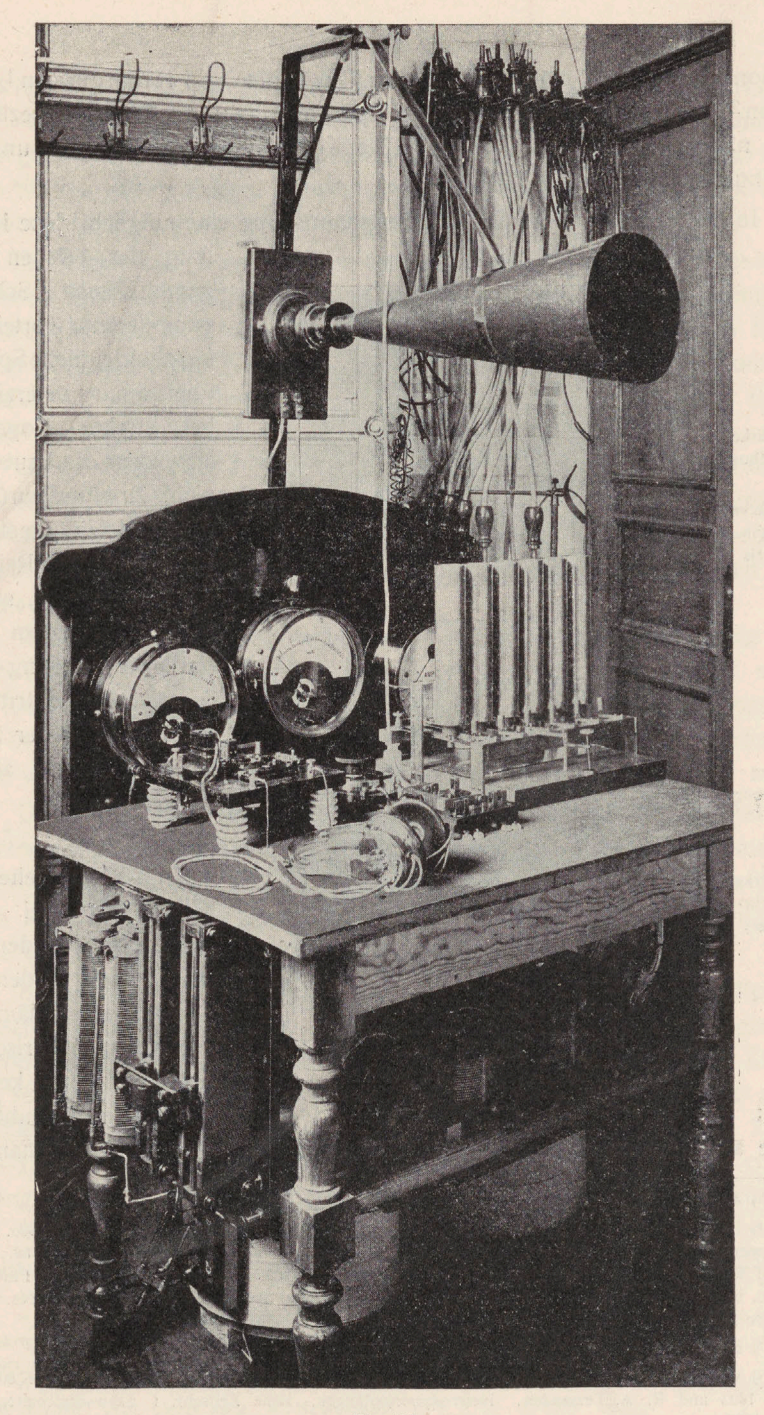


Fig. 127.

telephonie vorzüglich eignen, der heisse Oxydfritter von Hornemann[1]), das Audion[2]) und der Quecksilberdampf-Detector[3]) von de Forest, bezüglich deren näherer Konstruktion an dieser Stelle auf die citierten Arbeiten und Beschreibungen hingewiesen sei.[4])

In allen Fällen ist bei der Empfangsanordnung eine möglichst lose Kopplung des offenen und geschlossenen Schwingungssystems vorteilhaft, um eine deutliche Sprachübertragung zu erzielen; bei starker Kopplung lässt zwar die Lautstärke nichts zu wünschen übrig, doch leidet infolge starker Dämpfung die Reinheit der Wiedergabe, sodass unter Umständen eine starke Verzerrung der Sprachwellen eintritt und ein Verstehen der übertragenen Worte ausgeschlossen ist.

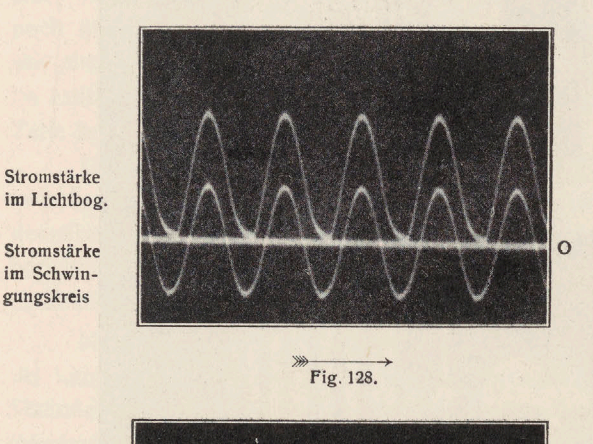


Fig. 128.

Spannung am Lichtbog.

Stromstärke im Schwingungskreis

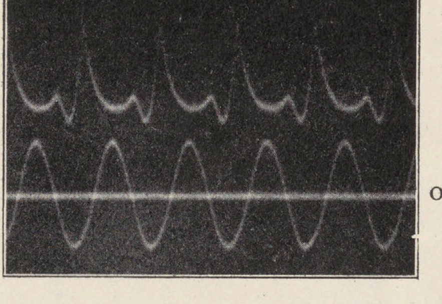


Fig. 129.
Grenzfall des Duddell-Phänomens.

* * *

Im Vorhergehenden haben wir zwei prinzipiell von einander verschiedene Methoden der Erzeugung ungedämpfter schneller elektrischer Schwingungen kennen gelernt. Während die eine Hochfrequenz-Dynamos anwendet, beruht die andere auf der Erscheinung des selbsttönenden Lichtbogens. Sieht man von

---

1) Ann. d. Phys. 14. S. 182. 1904.

2) Paper read before the American Institute of Electrical Engineers on October 20. 1906. Proc. of the Americ. Inst. of Electr. Eng. 25 S. 219–247. 1906. (Referat: Ann. d. Elektrotechn. 2. S. 68. 1907.) Electrical World 48. S. 1107. 1906. The Electrician 58. S. 216. 1906. Vgl. auch: J. A. Fleming, Phil. Mag. Mai 1906, britische Patentschrift No. 24850 vom Jahre 1904 und amerikanische Patentschrift No. 803684 vom Jahre 1905 und Tissot, Journ. d. Phys. Januar 1907 und The Electrician 58. S. 729. 1907.

3) Electrical World 48. S. 1186. 1906. Éclair. Électr. 50. S. 144. 1907.

4) Weitere Vorschläge: H. Th. Simon, telegraphonischer Empfänger, D. R. P. No. 147802 vom 1. März 1903 und R. A. Fessenden, Heterodyneempfänger, siehe Zeitschr. f. Schwachstromtechn. 1. S. 116. 1907.

der schon erwähnten bei dem Erreger von Poulsen und der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie durch die Anwendung gekühlter Metallanoden hervorgerufenen Verzerrung der Stromkurve im Schwingungskreise ab, so liefern beide Wechselströme nahezu sinusförmigen Verlaufs, die offenbar für die volle Ausnutzung der Resonanz am günstigsten sind.

Im Folgenden wollen wir noch einige ähnliche Phänomene kennen lernen, bei denen ebenfalls hochfrequente Wechselströme auftreten, deren Verlauf zwar von der Sinusform erheblich abweicht, die sich aber immerhin auch für die Zwecke der elektrischen Wellen-Telegraphie und Telephonie eignen, zumal, wie wir sehen werden, dieselben gestatten, eine wesentliche Steigerung der Energie im Schwingungskreise herbeizuführen [1]).

Gehen wir bei den folgenden Ausführungen, die zugleich auch, wie ich hoffe, eine gewisse Klärung über die sich vielfach widersprechenden Ansichten, Beobachtungen und Erklärungen der oben beschriebenen Lichtbogen-Generatoren bringen werden, wieder von dem Phänomen des selbsttönenden Lichtbogens aus.

Wenn man bei einer derartigen Anordnung die Speisestromstärke (z. B. durch Vergrösserung des Vorschaltwiderstandes) allmählich verringert, so tritt bald ein Fall ein, bei dem die Amplitude im Schwingungskreise so gross wird, dass bei der Ladeschwingung, die im Lichtbogenzweig dem Speisestrom entgegen verläuft, die Stromstärke im Lichtbogen bis auf Null fällt.

Dieser Fall ist in den in Fig. 128 und 129 abgebildeten, mir gleichfalls von Herrn Duddell zur Verfügung gestellten oscillographischen Aufnahmen dargestellt (vgl. hierzu die Fussnote 1 auf S. 103). Wie man aus denselben ersieht, treten auch bei diesem Grenzfall des Duddell-Phänomens im Schwingungskreise nahezu sinusförmig verlaufende Wechselströme auf.

Bei weiterer Verringerung der Speisestromstärke [2]) wird die Amplitude der Ladeschwingung noch grösser und die die Stromstärke im Lichtbogen darstellende Kurve berührt nicht nur die Nulllinie, sondern bleibt einige Zeit auf Null, sodass die auf die Ladeschwingung folgende, mit dem Speisestrom gleichgerichtete Entladeschwingung den Lichtbogen immer wieder neu zünden muss [3]); bis die Kapazität die dazu nötige Spannung erreicht, vergeht eine um so längere Zeit, je langsamer die Elektrizität aus der Betriebsquelle nachströmt.

Wie die theoretische Betrachtung auf S. 90 lehrt, hängt diese Zündungszeit bei einer bestimmten Betriebsspannung sowohl von dem Widerstand als

---

[1]) Der von W. Hahnemann (E. T. Z. 28. S. 353. 1907) vertretenen Ansicht, dass die im folgenden angeführten Methoden für die praktische drahtlose Nachrichten-Uebermittelung ausscheiden, kann sich Verfasser nicht anschliessen.

[2]) Die gleiche Erscheinung tritt auch ein, wenn man dem Duddell'schen Schwingungskreise zu viel Energie entzieht. (Vgl. hierzu auch: W. Hahnemann. E. T. Z. 27. S. 1090. 1906).

[3]) Der Abstand der Elektroden darf daher hier nur Bruchteile eines Millimeters betragen.

auch von der Selbstinduktion der Speiseleitung ab. Die Periode des Schwingungskreises wird also bei dieser Erscheinung die man wohl als **unreines Duddell-Phänomen** bezeichnet, nicht allein von den Konstanten des Schwingungskreises, sondern auch von denen des Speisestromkreises bestimmt.

In Fig. 130 sind die bei diesem Phänomen auftretenden Strom- und Spannungskurven schematisch dargestellt.

Die im Schwingungskreis auftretenden Wechselströme weichen jetzt beträchtlich von der Sinusform ab.

Dementsprechend gibt auch ein unter diesen Betriebsverhältnissen tönender Lichtbogen bei einer im Bereich der hörbaren Töne liegenden Frequenz keinen musikalischen Ton, sondern mehr ein kreischendes Geräusch.

Fig. 130.

Die im Vorangehenden gegebene Ableitung des unreinen Duddell-Phänomens aus dem reinen Duddell-Phänomen kann man auch graphisch ausführen, wenn man in Fig. 110 den den jeweiligen Betriebsverhältnissen entsprechenden Punkt der statischen Charakteristik im Sinne kleiner werdender Stromstärke wandern lässt.

Sobald die durch den (der Speisespannung entsprechenden) Punkt E der Ordinatenachse gezogene Widerstandslinie Tangente an die Charakteristik, oder genauer ausgedrückt, an den abnehmender Stromstärke entsprechenden Kurvenzweig der dem betrachteten Punkte der Charakteristik zugehörigen Hysteresisschleife wird, ist die Stabilitätsgrenze des Lichtbogens erreicht, der Lichtbogen verlöscht und bleibt solange unterbrochen, bis die Spannung an demselben soweit gestiegen ist, dass eine Neuzündung erfolgt[1]).

Obiger Darstellung zufolge wird man geneigt sein anzunehmen, dass auch das unreine Duddell-Phänomen den gleichen Bedingungen wie das Duddell-Phänomen selbst unterliegt. Dies ist aber, wie wir sofort sehen werden, nicht der Fall.

---

[1]) A. Blondel Comptes Rendus 140. S. 1680. 1905.

In Wirklichkeit ist nämlich das betrachtete Phänomen viel allgemeiner und kann auch auf die gewöhnliche Funkenentladung, bei der, wie wir früher gesehen haben, im allgemeinen Komplexe gedämpfter Schwingungen auftreten, zurückgeführt werden[1]), wenn man durch passende Wahl der Konstanten des Speisestromkreises und des der Gasentladungsstrecke parallel geschalteten Schwingungssystems den Ablauf der oscillatorischen Entladung auf ein einziges Abströmen der Elektrizität beschränkt und bei geeigneter Betriebsspannung sich Ladungs- und Entladungsvorgang schnell aufeinander folgen lässt.

Im Falle des unreinen Duddell-Phänomens tritt eine derartige Beschränkung dadurch ein, dass die zweite Periode der oscillatorischen Entladung nicht zu Stande kommt, da der Lichtbogen bereits bei dem zweiten Wechsel, der mit der Ladung zusammenfällt, seine Leitfähigkeit verliert.

Von diesem allgemeineren Standpunkt aus kann man das unreine Duddell-Phänomen und einige ähnliche, die wir noch kennen lernen werden, als Vorgänge ansehen, bei denen sich abgebrochene Partialentladungen in schneller Aufeinanderfolge aneinanderreihen.

Die Bedingungen für das Zustandekommen derartiger Vorgänge sind aber ganz andere als für den selbsttönenden Lichtbogen.

Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass hier dem Kondensator des Schwingungskreises während des Erlöschens des Lichtbogens Energie von der Betriebsstromquelle zugeführt wird, ein Umstand, den die bei der von Duddell gegebenen Ableitung der Bedingung: $\frac{dE}{dI}$ negativ, gemachte Annahme gar nicht berücksichtigt.

Tatsächlich kommt diese auch für derartige Erscheinungen nicht in Betracht, worauf insbesondere Maisel auf Grund experimenteller und theoretischer Forschungen ausdrücklich hingewiesen hat[2]).

Die Natur der Elektroden spielt bei diesen Phänomen eine wesentlich andere Rolle als beim selbsttönenden Lichtbogen; auch unterliegen die mittels derartig intermittierender Lichtbogen erzeugten Schwingungen keinerlei Beschränkung hinsichtlich ihrer Frequenz.

Somit erklären sich nach Ansicht des Verfassers die auf S. 105 angeführten der Theorie des selbsttönenden Lichtbogens widersprechenden Beobachtungen von hohen Frequenzen, von im Schwingungskreise auftretenden von der Sinusform abweichenden Stromkurven[3]), sowie endlich die Feststellung der Un-

[1]) Unter bestimmten Versuchsbedingungen erhält man sogar beim unreinen Duddell-Phänomen Komplexe gedämpfter Schwingungen. Die Stromstärke im Lichtbogen fällt dann nicht nur auf Null, sondern wird sogar negativ.

[2]) S. Maisel, loc. cit.

[3]) Corbino, loc. cit.

brauchbarkeit der Thomson'schen Formel zur Berechnung der Frequenz[1]), einfach dadurch, dass dieselben in Wirklichkeit beim unreinen Duddell-Phänomen, welches trotz der Aehnlichkeit der Anordnung in seiner Wirkungsweise vom Duddell-Phänomen prinzipiell verschieden ist, gemacht wurden.

Auch die Möglichkeit des Ersatzes des Lichtbogens durch eine Quecksilberdampflampe, bei der nach Weintraub schon bei ganz langsamer Aenderung der Stromstärke $\frac{dE}{dI} > O$ ist, wird so verständlich[2]).

Bei den üblichen Gleichstromspannungen (etwa 110 bis 550 Volt) muss man dann allerdings zur Herbeiführung der Wiederzündungen besondere, die Aktivierung der Kathode der Lampe begünstigende Hilfsmittel anwenden, da die Quecksilberdampfstrecke, wie schon früher hervorgehoben, ihre Leitfähigkeit sehr rasch verliert[3]).

Die wahre Rolle des Lichtbogens als Funkenstrecke bei derartigen Anordnungen tritt noch deutlicher zu Tage, wenn man von der künstlichen Erniederung der Zündspannung absieht, und zur Speisung der Quecksilberdampflampe hochgespannten Gleichstrom anwendet, wie z. B. Cooper Hewitt vorgeschlagen hat[4]). Auch die auf S. 89 – 93 angeführten Simon'schen Versuche wurden grade zu dem Zwecke angestellt, um auf diese Weise durch Aneinanderreihung von Einzelimpulsen ungedämpfte elektrische Schwingungen hervorzurufen[5]).

Indessen gelang es Simon nicht, das erstrebte Ziel zu erreichen, er erhielt, wie wir auf S. 90 gesehen haben, nur schnell aufeinanderfolgende Komplexe gedämpfter Schwingungen.

Bietet so die Verwirklichung der erforderlichen Versuchsbedingungen schon bei Quecksilberdampfstrecken Schwierigkeiten, so sind dieselben offenbar bei gewöhnlichen Luftfunkenstrecken noch bedeutend grösser, da diese in weit höherem Grade zur Lichtbogenbildung neigen.

Hierher gehört auch nach Ansicht des Verfassers die in neuester Zeit vielfach angeführte und irrtümlich als Vorläufer des selbsttönenden Lichtbogens bezeichnete von Elihu Thomson (1892) im amerikanischen Patent No. 500630

---

1) Ascoli und Manzetti, loc. cit. und A. Masini. Elettricista 11. S. 233. 1902, sowie Éclair. Électr. 33. S. 310. 1902.

2) Vgl. z. B. Valbreuze, Éclair. Électr. 36. S. 81 1903. E. Z. T. 24. S. 831. 1903.

3) Ein solches Hilfsmittel besteht z. B. im Anwärmen der Kathode oder in der Anwendung eines Hilfslichtbogens (Weintraub). Vgl. auch D. R. P. No. 173396 vom 27. September 1904, in welchem ein diesbezüglicher Vorschlag des Verfassers angegeben ist.

4) Vgl. die amerikanischen Patentschriften No. 780999 und 781000, beide vom 25. April 1902, und No. 781603 vom 24. September 1902, alle drei erteilt am 31. Januar 1905, Electrical Review 42. S. 264. 1903. Electrical World 41. S. 326. 1903. – Cooper Hewitt giebt die erforderliche Speisespannung zu 3500 Volt an.

5) H. Th. Simon und M. Reich. Phys. Zeitschr. 4. S. 364 1903 und H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 4. S. 737. 1903.

beschriebene Methode[1]) (of and means for producing alternating currents), vgl. die der Patentschrift entnommene Fig. 131. Denn wie aus der Beschreibung und auch aus der Fassung der Patentansprüche deutlich hervorgeht, benutzt die Thomson'sche Anordnung eine Funkenstrecke, keinen (dauernd brennenden) Lichtbogen. — Der in Figur 131 gezeichnete, nach den eigenen Angaben Thomson's bei günstigen Versuchsbedingungen übrigens garnicht erforderliche Blaselectromagnet[2]) (bezw. ein denselben ersetzendes Luftgebläse), soll ja gerade dazu dienen, das Uebergehen der Funkenentladung in einen Lichtbogen zu verhüten.

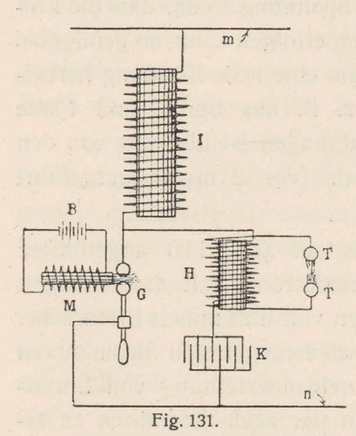


Fig. 131.

Demnach kann es wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass der in der angeführten Patentschrift niedergelegte Erfindungsgedanke einen disruptiven Entladungsvorgang betrifft. — Ob bei den diesbezüglichen von Thomson angestellten Versuchen tatsächlich eine Aufeinanderfolge von Einzelimpulsen, oder was nach obigen Ausführungen bedeutend wahrscheinlicher ist, Komplexe gedämpfter Schwingungen aufgetreten sind, sei dahingestellt. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass Thomson schon damals gelegentlich das reine Duddell-Phänomen beobachtete, jedenfalls hat er dann aber die verschiedenartige Wirksamkeit seiner Anordnung bei verschiedenen Versuchsbedingungen nicht klar erkannt und seiner Patentbeschreibung einen der möglichen Vorgänge zu Grunde gelegt, der von dem bei dem selbsttönenden Lichtbogen sich abspielenden prinzipiell verschieden ist.

Die erwähnten Schwierigkeiten, die sich bei der Verwirklichung der für derartige disruptive Entladungsvorgänge erforderlichen Versuchsbedingungen, zumal bei Luftfunkenstrecken, ergeben, können indes, worauf Simon hingewiesen hat, durch Anwendung geeigneter Kunstgriffe wesentlich herabgesetzt werden[3]).

---

1) Angemeldet 18. Juli 1892, erteilt 4. Juli 1893, vgl. hierzu: Elihu Thomson. The Electrician 46. S. 477. 1901. 58. S. 378. 1906. 58. S. 542. 1907. Electrical Review (London) 59. S. 986. 1906 E. T. Z. 28. S. 304 u. 305 1907. — R. A. Fessenden. The Electrician 58. S. 675 und 710. 1907. Fessenden bringt übrigens genau die gleiche Auffassung von der Thomson-Anordnung, wie sie Verfasser oben wiedergibt, in seiner amerikanischen Patentschrift No. 730753 (angemeldet 9. April 1903, erteilt 9. Juli 1903), zum Ausdruck. (Siehe S. 2 Zeile 86—88: In the Thomson patent the oscillation frequency is identical with the discharge frequency); um so unerklärlicher erscheint sein Standpunkt, den er jetzt vertritt, das Thomson- und das Duddell-Phänomen zu identificieren. Ferner: The arc in wireless telegraphy. The Electrician 58. S. 374. 1906 und J. A. Fleming, The Electrician 58. S. 733. 1907.

2) Vgl. amerikanische Patentschrift No. 500630. S. 1. Zeile 73—74. „At M is represented a powerful magnet which is not always, however, necessary but the purpose of which is to break any arc between the balls at G. It may sometimes be replaced by an air-jet" und The Electrician 51. S. 542. 1907. „Neither was the dying spark suddenly blown by a magnet or air-blast, because in the course of my experiments I found that neither of these adjuncts were necessary".

3) H. Th. Simon, Phys. Zeitschr. 4. S. 372 und 740. 1903.

Ein solcher besteht z. B. darin, dem Schwingungskreis durch den mit ihm gekoppelten Strahldraht bei jedem Funkenübergang so viel Energie zu entziehen, dass die oscillatorische Entladung stark gedämpft und in der Funkenstrecke schon nach einer Schwingung der Zustand der Nichtleitung erreicht wird.

Noch einfacher und sicherer lässt sich die gleiche Wirkung durch unsymmetrische bezw. ventilartig ausgebildete Funkenstrecken, bei denen die Zündung in dem einen Sinne eine höhere Spannung als im umgekehrten erfordert, erreichen [1]). Legt man dabei nämlich die Spannung so an, dass die Entladung der Kapazität bei der niedrigeren Spannung erfolgen kann, so genügt bei der Rückschwingung die Spannung nicht mehr, um eine neue Zündung herbeizuführen. Die Benutzung unsymmetrischer, z. B. aus Spitze und Platte bestehenden Funkenstrecken bei derartigen Anordnungen ist übrigens von den verschiedensten Seiten vorgeschlagen und auch (vor Simon) ausgeführt worden [2]).

So z. B. benutzte Righi bei seinen bereits auf Seite 110 angeführten Versuchen (1901) als Entladungsstrecke eine Geisslerröhre mit drahtförmiger Anode und plattenförmiger Kathode. Wie aus den von ihm mittels Braun'scher Röhre beobachteten und in der zitierten Arbeit wiedergegebenen Stromkurven deutlich hervorgeht, erhielt er in der Tat eine Aneinanderreihung von Einzelimpulsen, deren Verlauf und Aufeinanderfolge in der auch theoretisch zu erwartenden Weise von den Konstanten des Speisestromkreises und Schwingungskreises abhing.

Es erscheint auch nicht unmöglich, eine derartige Unsymmetrie der Funkenstrecke durch Erwärmung der einen und durch Abkühlung der anderen Elektrode herbeizuführen. Hierauf beruht die bereits erwähnte von Simon gegebene Erklärung der Wirkungsweise des Poulsen-Erregers [3]), der jedoch die weiter unten angeführten Aufnahmen des Verfassers widersprechen.

Die mannigfaltigsten Vorschläge einer der Sprache entsprechenden Beeinflussung (des Speisestrom- oder Schwingungskreises) bezw. Auslösung bei mit disruptiven Entladungen arbeitenden wellentelegraphischen Sendern sind in der Blondel'schen britischen Patentschrift No. 15527 (1902) enthalten [4]).

---

[1]) Man kann auch der symmetrischen Funkenstrecke ein Ventil vorschalten. (Vgl. z. B. A. Blondel, Britische Patentschrift No. 15527 vom Jahre 1902. S. 5, Zeile 17–18 und H. Th. Simon, E. T. Z. 28. S. 317. 1907).

[2]) R. A. Fessenden. Amerikanische Patentschrift No. 706741, angemeldet 5. November 1901, erteilt am 12. August 1902. – A. Blondel. Britische Patentschrift No. 15527 vom Jahre 1902, angemeldet 11. Juli 1902, vervollständigt 11. April 1903, erteilt 11. Juli 1903. S. 5, Zeile 17 und 38–39. – H. Th. Simon, loc. cit. und D. R. P. No. 156364 vom 26. März 1903.

[3]) H. Th. Simon. E. T. Z. 28. S. 317. 1907.

[4]) Vgl. auch A. Blondel, D. R. P. No. 160880 vom 17. August 1902.

Hingewiesen sei an dieser Stelle insbesondere auf den auch in dieser zum Ausdruck gebrachten Unterschied zwischen dem jenen wellentelephonischen Verfahren zu Grunde gelegten Vorgang und dem Duddell-Phänomen (Seite 5 Zeile 27 bis 30). „It may be noticed that the appearance of Figure 2 is analogous to that of the well known arrangement and patent of Duddell No. 21 629 of 1900, on the musical arc; but an essential difference is the employment of a disruptive discharger instead of an arc".

Bei den bisher beschriebenen Methoden zur Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen mittels Lichtbogens oder Funkenstrecke, handelt es sich um Phänomene, bei denen die Erregung des der Entladungsstrecke parallel geschalteten Schwingungskreises nur unter bestimmten, von den Konstanten der durch dieselbe gekoppelten Systeme abhängigen Versuchsbedingungen eintritt.

In gewissem Sinne spielt die Kapazität des Schwingungskreises für das Zustandekommen dieser Phänomene die Hauptrolle. Da die in die Speiseleitung geschaltete Drosselspule nämlich nur ein langsames Nachströmen der Elektrizität aus der Speisestromquelle gestattet, so wird bei der Ladung des Kondensators dem Lichtbogen bezw. der Funkenstrecke je nach den Versuchsbedingungen weniger oder mehr Energie entzogen, sodass die Stromstärke in diesem bezw. dieser beträchtlich sinkt (Duddell-Phänomen), unter Umständen auf Null fällt (Grenzfall des Duddell-Phänomens) oder sogar so lange Null bleibt, bis die Spannung an der Entladungsstrecke wieder so weit gestiegen ist, um eine Neuzündung bewirken zu können (unreines Duddell-Phänomen, disruptiver Entladungsvorgang).

Zum Schluss wollen wir nun noch eine andere Gruppe von Methoden kennen lernen, bei der im Gegensatz zu obiger der Lichtbogen bezw. die Funkenstrecke als eigentlicher Schwingungserreger angesehen werden muss und dementsprechend die Erregung des parallel geschalteten Schwingungskreises zwangsweise erfolgt.

Man kann sich einen derartigen Vorgang am besten klar machen, wenn man eine Anordnung zu Grunde legt, bei der die Entladungsstrecke nicht mit Gleichstrom, sondern mit undulierendem oder intermittierendem Strom gespeist wird. — Offenbar werden auch dann in dem parallel geschalteten Schwingungskreise Schwingungen hervorgerufen, die am lebhaftesten sind, wenn sich die Impulse der Speisestromquelle in einem der Eigenperiode des Schwingungskreises entsprechenden Abstande folgen, d. h. Resonanz zwischen aufgedrückten und freien Schwingungen herrscht.

Eine derartige Anordnung hätte indes keinerlei praktische Bedeutung, wenn man den zur Speisung erforderlichen Wellenstrom auf mechanischem Wege, etwa mittels einer geeigneten Dynamo oder eines Unterbrechers erzeugen wollte. Denn die Existenz dieser würde die Benutzung jener überflüssig machen.

Man kann diese Variationen bezw. Unterbrechungen des Speisegleichstromes aber auf sehr einfache Weise, nämlich mit Hilfe eines auf die Entladungsstrecke wirkenden (Luft- oder Magnet-) Gebläses erzielen.

Schon de la Rive beobachtete, dass ein sonst lautlos brennender Gleichstromlichtbogen in einem starken Magnetfelde „ein sehr starkes Geräusch, ähnlich dem scharfen Zischen, mit welchem Wasserdampf aus einer Lokomotive entweicht, erzeugt“ [1]).

Diese Beobachtung (unter anderen Verhältnissen tritt ein Pfeifen oder Knarren ein) lässt auf verhältnismässig schnelle durch das Gebläse hervorgerufene Schwankungen der Lichtbogenstromstärke schliessen.

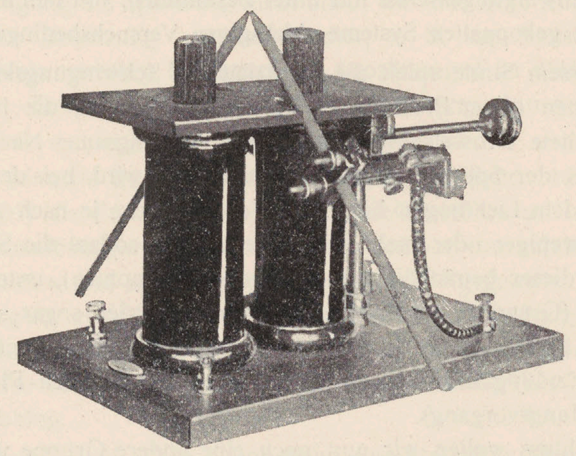


Fig. 132.

Derartige Schwankungen treten in der Tat ein und können sogar so gross werden, dass der Lichtbogen zeitweise verlöscht.

Dieses in rascher Folge sich wiederholende Löschen und Wiederzünden eines in einem magnetischen Felde angeordneten Lichtbogens ist auch von verschiedenen Experimentatoren festgestellt worden. So bestimmte z. B. Blondel (1893) die Unterbrechungszahl auf 3000 – 4000, Abraham (1899) sogar auf 100000 in der Sekunde.

Schon Fitzgerald schlug daher vor, durch solche schnell aufeinanderfolgenden Unterbrechungen eines Gleichstromlichtbogens Stromimpulse von hoher Periodenzahl zu erzeugen. Interessant ist insbesondere, dass von diesem Gesichtspunkte aus auch Duddell vor der Entdeckung des selbsttönenden Lichtbogens einen magnetisch beeinflussten Gleichstromlichtbogen untersuchte. Da indessen Löschungen und Zündungen zu unregelmässig erfolgten, kam er zu keinem Resultat.

[1]) de la Rive, Pogg. Ann. 76. S. 281. 1849.

Verfasser fand nun, dass die Regelmässigkeit der Unterbrechungen bedeutend erhöht wird, wenn man dem mittels Luft- oder Magnetgebläses beeinflussten Lichtbogen einen Schwingungskreis parallel schaltet, dessen Eigenschwingungen mit den durch äussere Einwirkung auf den Speisestrom hervorgerufenen, erzwungenen Schwingungen übereinstimmen[1]). Noch günstigere Resultate werden erhalten, wenn man auch die Blaswirkung in entsprechendem Rythmus erfolgen lässt, was am einfachsten durch Serienschaltung eines Blaselektromagneten mit dem Lichtbogen erreicht werden kann. Wir haben es dann mit einer Anordnung zu tun, die der von Poulsen bei seinem Lichtbogen-Generator angewendeten zum mindesten sehr ähnlich ist (vgl. Fig. 117).

Auf diesem Prinzip beruht der vom Verfasser im Jahre 1903 erfundene und weiter ausgebildete Lichtbogen-Unterbrecher (vgl. Fig. 132 und 133), der z. B. auf der Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten anlässlich des 25. Stiftungsfestes des Elektrotechnischen Vereins zu Berlin (22.—27. November 1904) vorgeführt und über den in der E. T. Z. 26. S. 382 – 383 ausführlicher berichtet wurde[2]).

Schon damals[3]) und auch besonders ausführlich gelegentlich eines am 12. Januar 1905 vor der Leipziger Elektrotechnischen Gesellschaft gehaltenen Vortrags habe ich ausdrücklich auf die Bedeutung dieser Anordnung zur Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen hingewiesen[4]).

Da die Betriebsspannung für die Schnelligkeit des Stromanstiegs, die Stärke des magnetischen Gebläses für die Schnelligkeit des Stromabfalles ausschlaggebend ist, so muss man bei geeigneter Bemessung beider Faktoren den dem Lichtbogen parallel geschalteten Schwingungskreis selbst bei hoher Eigenfrequenz desselben in richtigem Rythmus anstossen können.

In der Tat gelingt es auf diese Weise mittels eines (in Luft brennenden) Hochspannungslichtbogens zwischen Metallelektroden ungedämpfte elektrische Schwingungen zu erzeugen, wie solche für wellen-telegraphische bezw. -telephonische Zwecke erforderlich sind.

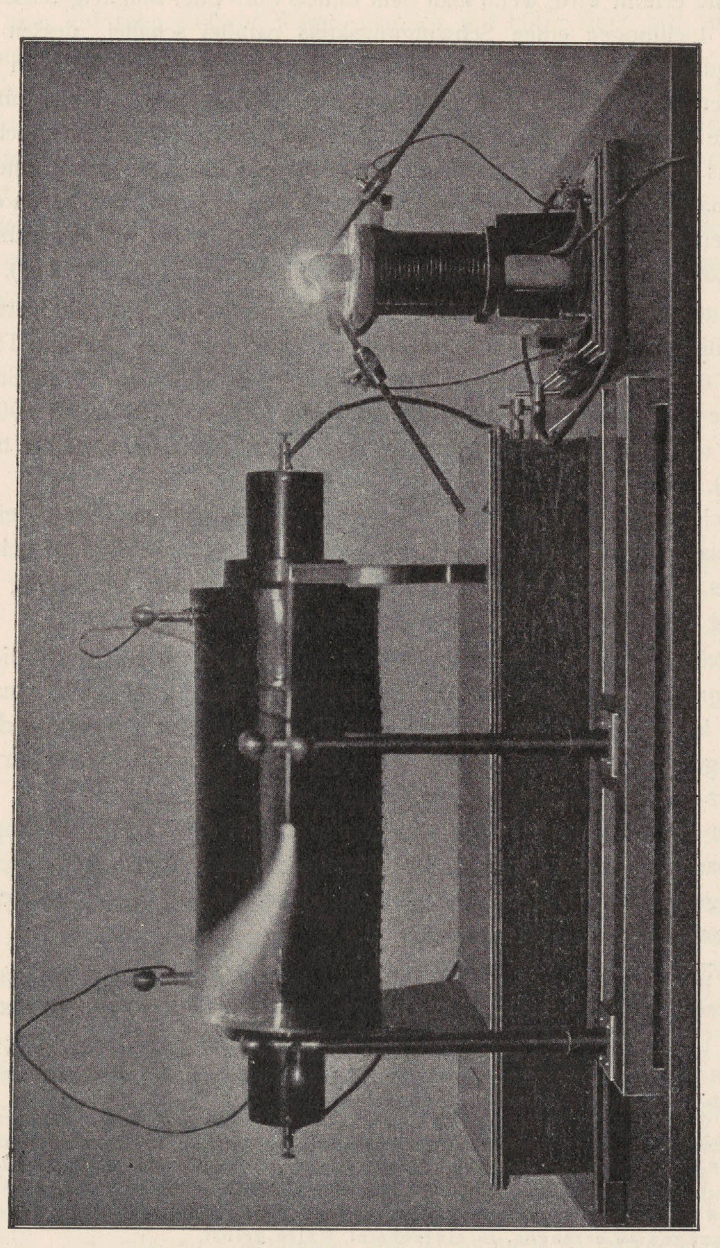
---

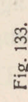
1) H. Mosler hat später die gleiche Anordnung beschrieben und ebenfalls darauf hingewiesen, dass zwischen der elektro-mechanisch erregten Eigenschwingung des Bogens und dem parallel geschalteten Schwingungskreis Resonanz herrschen muss. (E. T. Z. 28. S. 142 und 304. 1907.)

2) Auf jener Ausstellung wurde der Apparat sowohl als Unterbrecher für einen 30 cm Funkeninduktor (die primäre Wicklung desselben in Serie mit einem Kondensator den Schwingungskreis bildend) als auch als Hochfrequenzstromgenerator demonstriert.

3) Vgl. E. T. Z. 26. S. 383. Spalte 1 unten: „Um zu zeigen, dass derselbe Unterbrecher auch Hochfrequenzströme liefert, wurde mit demselben ein Impedanzgestell gespeist. Die Unterbrechungszahl betrug in diesem Falle etwa 20000 pro Sekunde, lässt sich aber durch Veränderung der Eigenperiode des Schwingungskreises nach kinematographischen Aufnahmen noch bis auf 400000 pro Sekunde steigern. Auf diese Weise ist das bisher vergeblich in Angriff genommene Problem, dauernd ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen, in einfachster Weise gelöst.

4) Vgl. auch: Mechaniker 13. S. 13. 1905. – A. Prasch. Die Fortschrite auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie IV. S. 178 und S. 266. 1906. – Ferner: A. Righi und B. Dessau. Die Telegraphie ohne Draht. 2. Auflage. S. 405–406. 1907.




Fig. 133.

Im Gegensatz zur Thomson-Anordnung, bei der unter geeigneten Versuchsbedingungen freie Schwingungen im Parallelkreise auftreten, erfolgt bei dem Lichtbogen-Unterbrecher die Erregung des Schwingungskreises zwangsweise durch das rythmisch wirkende Gebläse. Während bei jener das (übrigens getrennt erregte) Magnetgebläse, wie wir oben (siehe S. 129) gesehen haben, lediglich zur Verhütung der Bildung einer Lichtbogenentladung dient und unter Umständen ohne jeden Nachteil fortgelassen werden kann, spielt dasselbe hier die Hauptrolle, da ohne dasselbe der Anstoss des Schwingungskreises nicht zu stande kommen kann.

Endlich sei noch, obwohl dies nach dem Gesagten selbstverständlich erscheint, erwähnt, dass natürlich der Lichtbogen-Unterbrecher den Bedingungen für den selbsttönenden Lichtbogen nicht unterworfen ist. Wie der Versuch zeigt, erhält man z. B. auch schnelle Schwingungen bei Anwendung von Dochtkohlen, bei denen nach den Beobachtungen von Frith und Rodgers $\frac{dE}{dI}$ positiv ist[1]).

Bildet das Duddell-Phänomen ein Analogon zur Lippenpfeife, so entspricht dem Lichtbogen-Unterbrecher die Zungenpfeife, bei der die Luftsäule der Pfeife im Tempo der Zungenschwingungen angestossen wird. In ähnlicher Weise wie bei dieser die Eigenschwingungen der Luftsäule auf die durch die Elastizität der Zunge bedingten Erregerschwingungen zurück wirken, wird beim Lichtbogen-Unterbrecher in gewissen Grade die Unterbrechungszahl durch die Eigenschwingungen des Schwingungskreises beeinflusst.

Die soeben gekennzeichnete Methode der Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen bietet infolge der erzwungenen Erregung des Schwingungskreises vor den früher beschriebenen den Vorteil, dass sie fast beliebig grosse Energieen in Schwingungen umzusetzen gestattet[2]).

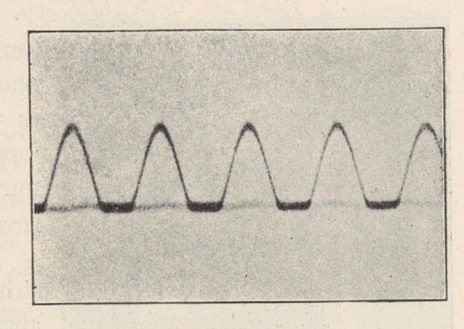


Fig. 134.

Bei der oben gegebenen Erklärung der Wirkungsweise des Lichtbogen-Unterbrechers haben wir angenommen, dass der Blaselektromagnet eine vollständige Unterbrechung des Lichtbogens herbeiführt. Demgemäss müsste die Stromstärke im Lichtbogen nicht allein auf Null fallen, sondern sogar einige Zeit Null bleiben, ehe sie wieder ansteigt.

---

[1]) Frith und Rodgers Phil. Mag. Bd. 42. S. 407. 1896.

[2]) Vgl. hierzu auch: W. Hahnemann. E. T. Z. 28. S. 353. 1907.

Dies ist in der Tat der Fall, wie die (bei ca. 400 Unterbrechungen pro Sekunde oscillographisch aufgenommene) in Fig. 134 wiedergegebene für den Lichtbogen - Unterbrecher typische Stromkurve zeigt.

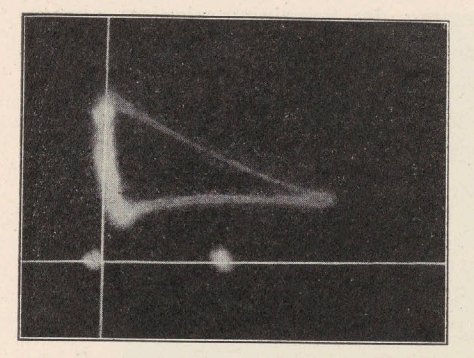


Fig. 135.

Aber auch dann, wenn bei geringerer Einwirkung des Blaselektromagneten keine vollkommene Auslöschung, sondern nur eine Ablenkung des Lichtbogens eintritt, ist ein periodisches Schwanken der Lichtbogenstromstärke denkbar, wenn man nämlich berücksichtigt, dass infolge der durch die Serienschaltung bedingten Wechselwirkung zwischen Blaswirkung und Lichtbogenausbiegung ein Schwingen des Bogens zu stande kommen kann[1]).

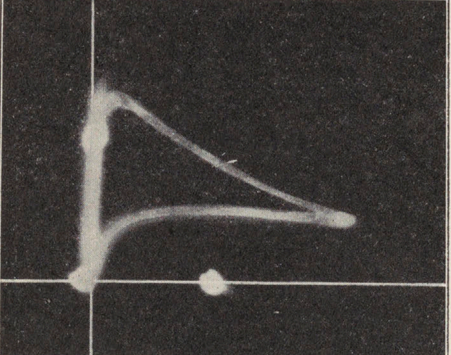


Fig. 136.

Bei verhältnismässig langsam verlaufenden Vorgängen konnten tatsächlich auch derartige oberhalb der Nullinie verlaufende Stromkurven mittels Braun'scher Röhre festgestellt werden.

Leider ist es mit den üblichen oscillographischen Methoden sehr schwierig, ja fast unmöglich, die bei hohen Frequenzen auftretenden Stromkurven zu beobachten bezw. zu photographieren, um zu entscheiden, ob es sich bei einem Lichtbogen - Erreger um vollständige Unterbrechungen oder nur um Schwankungen der Lichtbogenstromstärke handelt.

Eine diesbezügliche Feststellung lässt sich aber dennoch mit Hilfe der von Simon angegebenen Anordnung der Beobachtung der dynamischen Lichtbogen-Charakteristik

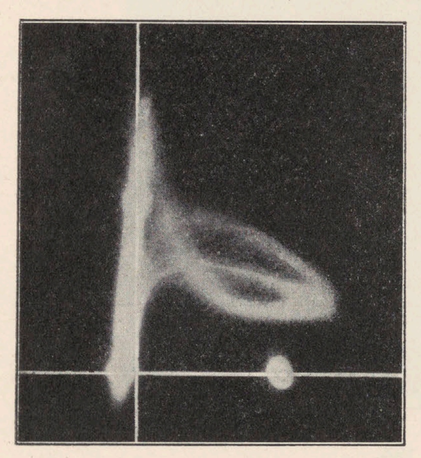


Fig. 137.

[1]) M. Reithoffer verneint in seiner Erklärung der ungedämpften Schwingungen die Möglichkeit einer derartigen Eigenschwingung des Lichtbogens im Magnetfeld. (E. T. Z. 28. S. 308. 1907.)

erreichen[1]). — Bei dieser von der Frequenz unabhängigen Methode beschreibt nämlich der Lichtfleck auf dem Fluorescenzschirm einer Braun'schen Röhre direkt die dynamische Charakteristik. Dies wird erreicht, indem man das Kathodenstrahlenbündel gleichzeitig von der Lichtbogenspannung, z. B. in vertikaler und von der Lichtbogenstromstärke in horizontaler Richtung ablenken lässt.

Der Kathodenstrahlenfleck stellt sich dann in jedem Moment der Lichtbogen-Spannung bezw. Stromstärke entsprechend ein und bestimmt so einen Punkt der dynamischen Charakteristik.

Da sich die Spannungs- bezw. Stromänderungen sehr rasch vollziehen und dauernd wiederholen, so erscheint die Kurve auf dem Fluorescenzschirm, und man kann sie photographieren.

In Fig. 135 – 137 sind einige derartige vom Verfasser aufgenommene Charakteristiken des Lichtbogen-Unterbrechers wiedergegeben. Die Koordinatenachsen sind nachträglich unter Benutzung der in den Figuren sichtbaren (auf den Achsen gelegenen) Merkpunkte eingezeichnet. Da die Spannungsablenkung gleichfalls elektromagnetisch erfolgte (man kann sie nach dem Vorschlage von Wehnelt auch elektrostatisch bewirken), so erscheint der Nullpunkt um eine der die Spannungsspulen durchfliessenden Stromstärke entsprechenden Strecke nach links verschoben.

Die Figuren 135 und 136 entsprechen Fällen, bei denen die Stromstärke auf Null sinkt, eine vollständige Unterbrechung eintritt und der Lichtbogen immer wieder neu gezündet werden muss. Fig. 135 wurde bei kürzerem, Fig. 137 bei längerem Lichtbogen unter sonst gleichen Verhältnissen erhalten. Wie aus dem Verlauf der Charakteristik deutlich hervorgeht, fiel bei letzterer Aufnahme auch die Spannung am Lichtbogen momentan auf Null.

Fig. 137 ist eine kompliziertere, bei einem unter ungünstigen Versuchsbedingungen arbeitenden Lichtbogen-Unterbrecher erhaltene Kurve. Ohne an dieser Stelle näher auf dieselbe einzugehen, sei nur darauf hingewiesen, dass auch hier eine völlige Auslöschung des Lichtbogens eintrat.

Neben diesen für den Unterbrechungsvorgang charakteristischen Hysteresisschleifen wurden bei verhältnismässig kurzen Lichtbogen auch solche aufgenommen, die dem oben angeführten Fall des Schwingens des Bogens entsprechen. Eine derartige nach der Originalaufnahme gezeichnete Kurve (mit 1 bezeichnet) ist in dem Diagramm Fig. 138 abgebildet.

---

[1]) Vgl. H. Th. Simon. Phys. Zeitschr. 6. S. 304 – 305. 1905.

Die Schleife berührt in keinem Punkte die Ordinatenachse.

Wie aus dem Diagramm deutlich hervorgeht, sank die Stromstärke höchstens auf 1 Ampère. Kurve 2 und 3 entsprechen den Unterbrechungscharakteristiken der Fig. 135 und 136.

Zum Vergleich sind in demselben Diagramm auch noch die Charakteristiken des selbsttönenden Lichtbogens (mit D bezeichnet) und des (mit Blaselektromagneten ausgerüsteten) Poulsen-Erregers (mit P bezeichnet) eingezeichnet.

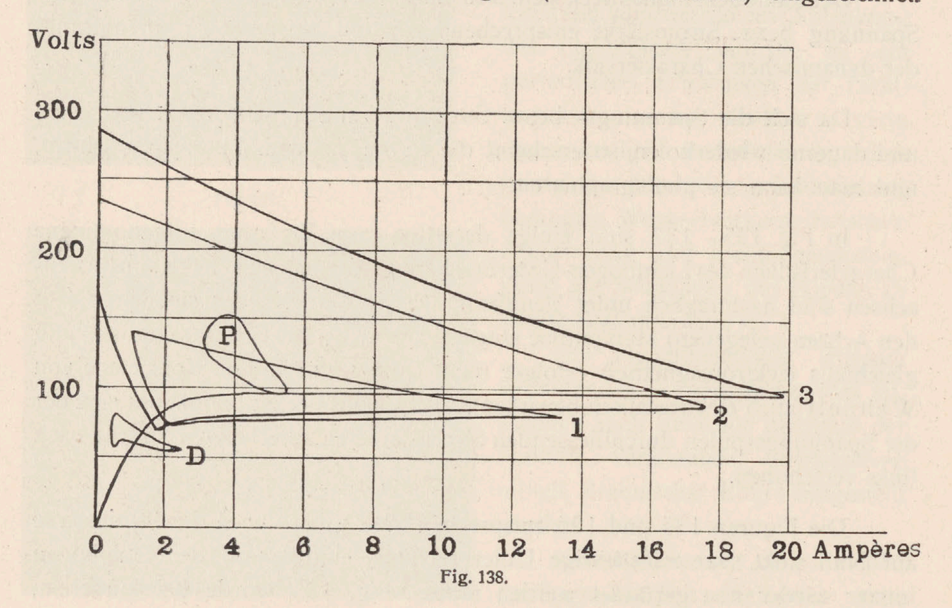


Fig. 138.

Bemerkenswert ist insbesondere die wohl durch die Wasserstoffatmosphäre bedingte Steilheit der letzteren im Vergleich zu den Hysteresisschleifen der übrigen untersuchten, in gewöhnlicher Atmosphäre arbeitenden Lichtbogenerreger.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass bei den vom Verfasser gewählten Verhältnissen bei dem Poulsen-Erreger eine einer vollkommenen Unterbrechung des Lichtbogens entsprechende (die Ordinatenachse berührende) Charakteristik nur kurz vor dem Erlöschen des Bogens beobachtet werden konnte, ohne dass es gelang, dieses Unterbrechungs-Phänomen dauernd aufrecht zu erhalten [1]).

Wir haben aber gesehen, dass unter gewissen Umständen auch beim Lichtbogen-Unterbrecher nur ein Pulsieren der Stromstärke stattfindet.

Die angestellten Beobachtungen schliessen daher keineswegs aus, dass auch dem Poulsen-Erreger eine zwangsweise Erregung des parallel geschalteten Schwingungskreises zu Grunde liegt.

1) Diese Beobachtungen widersprechen der früher angeführten Simon'schen Theorie des Poulsen-Generators (vgl. Seite 111 und 130).

Eine derartige Erklärung der Wirkungsweise desselben, die schon durch die Gleichartigkeit der Anordnungen nahe gelegt wird, ist von Benischke gegeben worden [1]).

Verfasser hat seine diesbezüglichen Ansichten ausführlicher in einem in der Elektrotechnischen Zeitschrift abgedruckten Briefe, dem die folgenden Zeilen entnommen sind, zum Ausdruck gebracht [2]).

„Poulsen benutzte wahrscheinlich den Magneten zuerst nur, um eine Fixierung der Fusspunkte des Lichtbogens herbeizuführen.

Erst später wird dann Poulsen, so denke ich mir wenigstens den Gang der Entwicklung, um trotz höherer primärer Energiezufuhr einen aktiven Lichtbogen zu erhalten, dass Magnetgebläse wesentlich verstärkt haben, weil das Duddell-Phänomen bei höherer Stromstärke trotz Kühlung der Elektroden und Wasserstoff-Atmosphäre nicht mehr einsetzt. Der Lichtbogen ist dann zu stabil geworden und daher inaktiv. Erst ein kräftiges magnetisches (oder Luft) Gebläse, welches den Lichtbogen unterbricht, ist imstande, den Schwingungskreis wieder zu erregen.

Poulsen hätte dann, bewusst oder unbewusst, das ist hier völlig belanglos, seine Wasserstoffatmosphäre auf meinen Lichtbogen-Unterbrecher übertragen.

Ich stimme mit Herrn Benischke darin überein, dass man nach den Vorführungen des Herrn Poulsen im Elektrotechnischen Verein sich ein derartiges Urteil über die Wirkungsweise des Poulsen-Erregers bilden konnte und dass alle Begleitumstände dafür sprechen, dass man es bei den hier vorgeführten Apparaten tatsächlich nur mit einem in einer Wasserstoff-Atmosphäre arbeitenden Lichtbogen-Unterbrecher zu tun hatte".

Dieser Erklärung ist allerdings die irrtümliche Annahme zu Grunde gelegt, dass auch der Poulsen-Erreger mit Unterbrechungen arbeitet. Wie wir aber oben gesehen haben und worauf auch Benischke [3]) treffend hinweist, ist es prinzipiell belanglos, ob tatsächlich vollkommene Unterbrechungen oder nur Stromschwankungen oberhalb des Nullwertes eintreten, das Charakteristische besteht in der durch äussere Einwirkung hervorgerufenen zwangsweisen Erregung des Schwingungskreises [4]).

---

1) Benischke, G. E. T. Z. 27. S. 1212. 1906.

2) Ruhmer, E. E. T. Z. 28. S. 69. 1907.

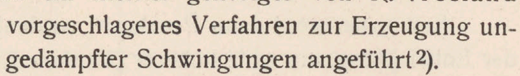
3) Benischke, G. E. T. Z. 28. 1907.

4) Benischke, G. E. T. Z. 28. S. 354. 1907. An dieser Stelle weist Benischke ferner darauf hin, dass man ein ähnliches Phänomen auch bei magnetischer Kopplung des sekundären Schwingungskreises mit dem Lichtbogenkreis erhalten muss, wenn der beeinflusste Lichtbogen Schwingungserreger ist. Tatsächlich können auch mittels einer derartigen Anordnung Schwingungen erzeugt werden, wie Versuche des Verfassers ergeben haben, während bei der Duddell-Anordnung, wo der Kondensator Schwingungserreger ist, der Ersatz der elektrischen Kopplung durch eine magnetische unstatthaft ist.

Endlich sei noch erwähnt, dass man bei einer derartigen Anordnung den gewöhnlichen Lichtbogen auch durch einen Quecksilberlichtbogen ersetzen kann[1]).

Solange der Blaselektromagnet nur ein Schwingen des Bogens veranlasst, ohne dass eine Unterbrechung eintritt, genügt zur Speisung Strom üblicher Spannung. Erst bei stärkerer Einwirkung, wenn der Bogen ausgelöscht wird, muss man besondere Vorkehrungen zur Aktivierung der Kathode treffen, um das Wiederzünden zu ermöglichen, es sei denn, dass man zur Speisung hochgespannten Strom anwendet.

Zum Schluss sei noch kurz ein hierher gehöriges von K. Vreeland vorgeschlagenes Verfahren zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen angeführt[2]).



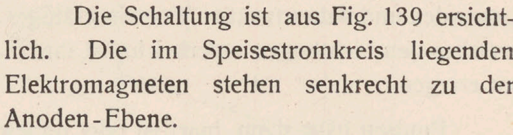


Fig. 139.

Bei demselben kommt eine Quecksilberdampf-Lampe mit einer Quecksilber-Kathode und zwei Anoden zur Anwendung.

Die Schaltung ist aus Fig. 139 ersichtlich. Die im Speisestromkreis liegenden Elektromagneten stehen senkrecht zu der Anoden-Ebene.

Tritt die Vorrichtung in Wirksamkeit, so sucht der Strom zunächst gleichmässig von der Kathode nach den beiden Anoden überzugehen; praktisch treten aber kleine Unterschiede auf, die zu Schwingungen Veranlassung geben und Schwankungen in der Feldstärke der Elektromagneten herbeiführen. Beim Ueberwiegen der Feldstärke eines Elektromagneten wird der Strom von einer Kathode zur anderen abgelenkt. Damit verstärkt sich aber das von ihm erregte magnetische Feld und wirft ihn zur ersten Anode zurück, worauf wieder das andere Magnetfeld verstärkt wird, und so fort. Diese Aenderungen erregen den, den beiden Anoden parallel geschalteten Schwingungskreis.

In der Figur ist eine Senderschaltung für drahtlose Telephonie unter Anwendung dieses Verfahrens dargestellt.

Die Sprachbeeinflussung erfolgt durch Aenderung der Kopplungsstärke zwischen dem geschlossenen und offenen Schwingungssystem mittels einer durch ein Mikrophon kurz geschlossenen Hilfswicklung.

Eine so wertvolle Ergänzung die elektrische Wellentelephonie zur Wellentelegraphie auch bildet, zumal sich die Stationen der letzteren ohne Schwierigkeiten entsprechend vervollständigen lassen, so wird dieselbe doch vorerst die gewöhnliche Drahttelephonie in sehr geringem Masse ersetzen bezw. verdrängen

---

1) Vgl. A. Righi und B. Dessau. Die Telegraphie ohne Draht. 2. Auflage. S. 408. 1907.

2) K. Vreeland. The Electrician 58. S. 685. 1907 und E. T. Z. 28. S. 276. 1907.

können, zumal ein schnelles Abwechseln von Hören und Sprechen unmöglich ist. Wenn jemand einem drahtlosen Gespräch lauscht, so ist er gezwungen geduldig zu warten, bis sein Partner zu Ende gesprochen hat, und muss dann erst seine Apparate umschalten, um antworten zu können[1]).

Bei den geringen Intensitätsschwankungen, deren Ausgangspunkt die durch die menschliche Sprache erzeugten Schallwellen sind, wird es sich zunächst immer nur um die Ueberbrückung geringerer Entfernungen handeln können. Dementsprechend ist zur Zeit das Anwendungsgebiet der elektrischen Wellentelephonie etwa das gleiche wie das der Lichttelephonie.

Ohne Zweifel wird das neue Verständigungsmittel infolge seiner die bisher verwendeten telegraphischen Verfahren bei weitem übertreffenden Leistungsfähigkeit für gewisse Fälle, z. B. beim Verkehr der im Hafen liegenden Schiffe untereinander oder der Vorposten mit dem Hauptquartier, von grösster Bedeutung werden.

Die elektrische Wellentelephonie besitzt alle Vor- und Nachteile, die jeder Nachrichtenübermittlung mittels elektrischer Wellen eigentümlich sind.

Als Vorteil ist anzuführen, dass eine gegenseitige Sichtbarkeit der Stationen nicht erforderlich ist; ein Nachteil besteht darin, dass eine absolute Geheimhaltung bezw. Störungsfreiheit kaum erzielt werden kann.

Vergleicht man die wellentelephonische Methode mit der lichttelephonischen, so ergiebt sich, dass den Vorteilen der einen, Nachteile bei der anderen gegenüberstehen und umgekehrt. Handelt es sich hier um ein Verfahren, bei dem eine Richtung der die Sprache übertragenden elektrischen Wellen nur in sehr beschränktem Masse möglich ist, so erfordert jenes gerade die exakte Einstellung des als Träger der Sprache dienenden parallelen Lichtbündels. Die auf diese Weise bei letzterem gewährte Geheimhaltung und Störungsfreiheit ist bei ersterem kaum zu erzielen, ein gerade für die Anwendung desselben bei Heer und Marine schwerwiegender Nachteil. Dagegen ist die wellentelephonische Uebertragung von dem Zustande der Atmosphäre fast unabhängig, während bei der lichttelephonischen die Sichtigkeit der Luft von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Wir haben im Vorhergehenden gesehen, in welcher Weise man das Problem der drahtlosen Uebertragung der menschlichen Sprache zu lösen versucht und auch gelöst hat. Im wesentlichen sind es zwei sich prinzipiell sehr nahestehende Verfahren, die für die Praxis in Betracht kommen: Die Licht-

[1]) Andererseits ist es sehr wahrscheinlich, dass die elektrische Wellentelephonie befruchtend auf die Drahttelephonie zurückwirkt.

Hingewiesen sei nur auf das Problem der Mehrfachtelephonie, dessen Lösung sich unter Benutzung der wellentelephonischen Methoden verlockend darbietet.

telephonie und die Wellentelephonie, erstere fast so alt als das Telephon selbst, letztere ein Kind der neuesten Zeit.

Bei jener sind wesentliche Fortschritte kaum noch zu erwarten, während wir es bei dieser mit den allerersten Anfängen zu tun haben und es wohl kaum einem Zweifel unterliegen kann, dass bei ihrer weiteren Ausgestaltung, an der allseitig fleissig gearbeitet wird, gewaltige, heute noch nicht zu übersehende Fortschritte erzielt werden.

Obwohl man sich schon seit langer Zeit über die Prinzipien dieser Methode klar war, so gelang es doch erst vor kurzem, die Theorie in die Praxis umzusetzen.

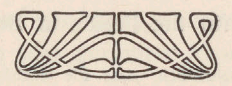
Während vor wenigen Monaten noch der bekannte Erfinder Edison mit Recht auf die an ihn gerichtete Frage: What is the outlook for wireless telephony? antworten konnte: „It does not exist“, sind wir heute schon in der Lage, die Sprache mit Hilfe der elektrischen Wellen auf mehrere Kilometer zu übertragen.

Ja, Fessenden und Tesla haben bereits in phantastischer Weise die Radiotelephonie als Telephonie der Zukunft verherrlicht.

„Mit geeigneten Apparaten kann eine solche telephonische Verbindung mit derselben Leichtigkeit und Präzision auf die grössten irdischen Entfernungen bewirkt werden. – Sehr bald wird es möglich sein, über einen Ozean ebenso klar und deutlich zu sprechen wie über einen Tisch hinüber“, so prophezeit Tesla in der Wochenschrift: English Mechanic. Damit würde dann auch das Zukunftsbild seiner Verwirklichung nahegerückt sein, welches Ayrton in seinem bekannten Ausspruch entworfen hat:

„Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Museum ruhen, dann wird das Menschenkind, das mit dem Freunde zu sprechen wünscht, und nicht weiss, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, welche allein nur jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Er wird rufen: Wo bist du? und die Antwort wird in sein Ohr klingen: Ich bin in der Tiefe des Bergwerkes, auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean. Oder vielleicht wird keine Stimme antworten, und er weiss dann, dass sein Freund tot ist.“

Bleiben wir indes auf dem Boden der Wirklichkeit, so wird die drahtlose Telephonie auch in beschränkterem Umfang der Menschheit zum Nutzen gereichen.



Literatur.

Bell, Alexander Graham. Das Photophon. Leipzig 1880.
Biegon von Czudnochowski, W. Das elektrische Bogenlicht. Leipzig 1906.
Birrenbach, H. Theorie und Anwendung des elektrischen Bogenlichts. Hannover 1903
Heinke, C. Handbuch der Elektrotechnik. Leipzig 1904.
Jentsch, Otto. Telegraphie und Telephonie ohne Draht. Berlin 1904.
Mazzotto, D. Telegraphie und Telephonie ohne Draht. München 1906.
Monasch, B. Der elektrische Lichtbogen. Berlin 1904.
Nerz, F. Scheinwerfer und Fernbeleuchtung. Stuttgart 1899.
Prasch, A. Die Telegraphie ohne Draht. Wien 1902.
Prasch, A. Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie. Stuttgart 1905/6.
Radiophone, The. St. Louis 1904.
Righi, A. und **Dessau,** B. Die Telegraphie ohne Draht. Braunschweig 1903 und 1907.
Ruhmer, E. Das Selen und seine Bedeutung für die Elektrotechnik. Berlin 1902.
Tesla, N. Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz. Halle 1895.

Americ. Teleph. Journ. = American Telephone Journal (New York).
Ann. d. Elektrotechn. = Annalen der Elektrotechnik (Leipzig).
Ann. d. Phys. = Annalen der Physik (Leipzig).
Arch. d'Électr. Méd. = Archives d'Électricité médicale (Bordeaux).
Beiblätter = Beiblätter zu den Annalen der Physik (Leipzig).
Berichte der Erlanger physikalisch-medizinischen Sozietät (Erlangen).
Bulletin de la Société française de Physique (Paris).
Comptes Rendus = Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences (Paris).
D. R. P. = Deutsches Reichspatent.
Éclair. Électr. = L'Éclairage Électrique (Paris).
Electrical Engineer (New York).
Electrical Review (London).
Electrical Review (New York).
Electrical World and Engineer (New York).
Electrician (London).
Électricien (Paris).
Elettricista (Rom).
Engineering (London).
English Mechanic (London).
Elektrotechniker (Wien).

E. T. Z. = Elektrotechnische Zeitschrift (Berlin).
Für alle Welt (Berlin).
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft (Berlin).
Journ. de Phys. = Journal de Physique Théorique et Appliquée (Paris).
Journal der russ. phys. chem. Gesellschaft.
Journal of the Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (London).
Journal of the Society of Telegraph Engineers.
Mechaniker (Berlin).
Nature (London).
Nuovo Cimento (Pisa).
Phil. Mag. = The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science (London).
Phil. Trans. = Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
Phys. Zeitschr. = Physikalische Zeitschrift (Leipzig).
Pogg. Ann. = Poggendorff, Annalen der Physik (Leipzig).
Proceedings of the American Institution of Electrical Engineers.
Proceedings of the Physical Society of London.
Proceedings of the Royal Society (London).
Rev. ind. = Revue industrielle (Paris).
Rendiconti dei Lincei = Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei (Rom).
Scientific American (New York).
Tijdschrift v. Geneeskunde.
Technische Rundschau (Berlin).
Western Electrician (Chicago).
Wied. Ann. = Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie (Leipzig).
Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht = Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht (Berlin).
Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau (Wien).
Zeitschr. f. Schwachstromtechn. = Zeitschrift für Schwachstromtechnik (München).

Namenregister.

Sachregister.

Druckfehler-Berichtigung.

Seite 91 Fussnote, Dämpfungsfaktor ist: $\varepsilon^{-\frac{R_0}{2L_0}t}$ (nicht $\varepsilon^{-\frac{R_0}{L_0}t}$)

Seite 109, Zeile 1, anwenden statt umwenden.

